

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO
MESTRADO ACADÊMICO**

MARCELA DE MELO GERMANO DA SILVA JANKOVIC

**ESTUDO DE CASO DE UMA HABITAÇÃO DE BAIXO IMPACTO AMBIENTAL NA
CIDADE DE NATAL/RN**

**Natal / RN
2017**

MARCELA DE MELO GERMANO DA SILVA JANKOVIC

**ESTUDO DE CASO DE UMA HABITAÇÃO DE BAIXO IMPACTO AMBIENTAL NA
CIDADE DE NATAL/RN**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Mestrado Acadêmico, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito para obtenção do título de Mestre.

ORIENTADORA: Prof^a. Dr^a. Solange Virginia G. Goulart

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. Aldomar Pedrini

**Natal / RN
2017**

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Marcela de Melo Germano da Silva Jankovic

E-mail: marcelamgermano@gmail.com

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN

Sistema de Bibliotecas - SISBI

Catálogo de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Setorial Prof. Dr. Marcelo Bezerra de Melo Tinôco - DARQ - -CT

Jankovic, Marcela de Melo Germano da Silva.

Estudo de caso de uma habitação de baixo impacto ambiental na cidade de Natal/RN / Marcela de Melo Germano da Silva Jankovic. - Natal, 2017.

152f.: il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Departamento de Arquitetura e Urbanismo.

Orientadora: Solange Virginia Galarca Goulart.

Coorientador: Aldomar Pedrini.

1. Habitação - Dissertação. 2. Arquitetura de baixo impacto ambiental - Dissertação. 3. Habitação de baixo impacto - Dissertação. 4. Processo projetual integrado - Dissertação. I. Goulart, Solange Virginia Galarca. II. Pedrini, Aldomar. III. Título.

RN/UF/BSE15

CDU 728.1

MARCELA DE MELO GERMANO DA SILVA JANKOVIC

**ESTUDO DE CASO DE UMA HABITAÇÃO DE BAIXO IMPACTO AMBIENTAL NA
CIDADE DE NATAL/RN**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Curso de Mestrado Acadêmico, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito para obtenção do título de Mestre em Arquitetura, Projeto e Meio Ambiente.

Área de concentração: Projeto, Morfologia e Conforto no Ambiente construído.

Aprovada em ____ / ____ / ____

Banca Examinadora:

Prof.^a Dr.^a. Solange Virginia Galarca Goulart - Presidente da Banca (UFRN)

Prof. Dr. Aldomar Pedrini – Examinador interno (UFRN)

Prof.^a Dr.^a. Bianca Carla Dantas de Araujo – Examinador interno (UFRN)

Prof. Dr. Sergio Fernando Tavares – Examinador externo (UFPR)

Aos meus pais, Walter e Maria Antonia, aos meus irmãos, Rimena e Rodrigo,
e a Beki, minhas fontes de inspiração e por acreditarem sempre.

AGRADECIMENTOS

Aos professores Solange Goulart e Aldomar Pedrini, a quem devo especial gratidão pela orientação, inspiração, paciência e amizade.

À Beki e Maya, por entenderem minha ausência, pela paciência e amor incondicional.

Aos meus pais e irmãos, pois a base familiar foi o que me possibilitou a conquista dos meus objetivos.

Aos arquitetos e amigos do LabCon Clara Ovídio, Giovani Pacheco, Alice Ruck, Viviane Diniz, Bartira Calado, Emmanuelle Séfora e Bárbara Felipe pela convivência, amizade, constante troca de experiências e conhecimentos.

Aos professores e colegas do Mestrado, por todos os ensinamentos e momentos compartilhados.

À Nicolau, pela ajuda nas questões burocráticas, sempre prestativo, disponível e eficiente.

À minha querida amiga, Wênya Romariz, pela disponibilidade e amizade, que me ajudou ativamente na finalização desta dissertação.

Enfim, a todos que de forma direta ou indireta, auxiliaram na concretização deste trabalho.

RESUMO

As habitações de baixo impacto ambiental conceitualmente apresentam consumo reduzido de recursos naturais não-renováveis, pouca produção e descarte de resíduos, máxima qualidade ambiental, e elevado desempenho térmico e lumínico. Neste estudo teve-se como objetivo analisar o desempenho de uma habitação de baixo impacto ambiental, no clima quente e úmido, e relacionar as soluções adotadas dentro do processo projetual. Os critérios considerados foram: desempenho térmico, desempenho luminoso natural e artificial, desempenho energético, e condicionantes projetuais para a gestão de água e materiais construtivos. O tema abordado contribuiu com a análise das Habitações de Baixo Impacto Ambiental para o clima quente e úmido com enfoque na cidade de Natal, o processo projetual integrado e o seu potencial de aplicação tendo o menor impacto ambiental como meta. Foram adotados procedimentos de pesquisa bibliográfica e estudo de caso, a partir de uma abordagem multicritérios do impacto ambiental e a sistemática de integração com as fases projetuais. Posteriormente, aplicaram-se os multicritérios no estudo de caso. Nos resultados, o melhor desempenho térmico da habitação (83% de horas anuais em conforto) apresentou painéis em madeira com absorvência à radiação solar de 30% na envoltória, abertura com tabicões – na parte de baixo da fachada Sul para entrada de ar, e tabicões ao alto da fachada Norte para a saída de ar – com a integração de sombreamento nas aberturas. As estratégias projetuais garantiram um desempenho luminoso natural e artificial, com disponibilidade de luz natural (80%) e uniformidade (relação máxima de 1:10), além de uma baixa densidade de potência instalada e eficiência luminosa. O desempenho energético da habitação resultante do confronto entre o perfil de consumo, os equipamentos instalados (redução de 17% comparado com convencional) e a produção de energia (100% da demanda), indica o alcance da meta de balanço energético zero. A demanda de água potável teve uma redução de 38% com os equipamentos economizadores (pia, lavatório e chuveiro), e a redução total de consumo de água foi de 52% ao se considerar que parte do consumo não potável é substituída pela água da chuva. Com relação aos materiais, não foi possível quantificar a redução de impacto devido o caráter qualitativo de análise da categoria. A análise da aplicação dos multicritérios contribuiu para a elaboração de recomendações projetuais e potenciais do processo e das estratégias aplicadas.

Palavras-chave: Arquitetura de baixo impacto ambiental, habitação de baixo impacto, processo projetual integrado.

ABSTRACT

The low environmental impact dwellings represent, in terms of the concept, a minimum use of naturally non-renewable resources, such as both fossil materials and oils, low production and waste of garbage, maximum environmental quality, and improved thermic performances, as well as those acoustic and luminous. The aim of this study is to analyze the effects and performance of a low environmental impact dwellings in a hot and humid climate and apply solutions adopted during the process of the project development. Considered criteria were: Thermic performance, natural and artificial illumination as well as project conditioners providing water and construction materials. The approached theme will give a great contribution to the analysis of the low environmental impact dwellings in hot and humid climate focusing on the city of Natal, the integrated project process and its potential of application having the lowest possible environmental impact as a goal. The methodological procedures of the bibliographic research and the study of the case were adopted from a multicriteria approach of the sustainability as well as the systematic of integration with the project phases. Posteriorly, multicriteria we applied on the study of the case. Project strategies guarantee strong results in terms of natural and artificial performance. With 80% availability of natural light as well as low density of the installed power and luminous efficiency. The analysis of the application of the multicriteria contributed to the elaboration of the project recommendations and the viability and potentials of the process as well as the applied strategies. Energetic performance of the dwelling resulting from the confrontation of the consumption profile, installed equipment (17% economy) and the production of energy (100% demand), indicates reaching a goal of zero energetic balance. Demand for potable water decreased 38% using the means of water waste reduction (faucet, sink, shower), and a reduction of the use of water reached 52%, underlining that a certain quantity of non-potable water is replaced by rainwater. As for material, it was not possible to quantify the reduction given the qualitative character of the analysis of category. The analysis of the application of the multicriteria contributed to the elaboration of the project recommendations and the viability and potentials of the process as well as the applied strategies.

Key-words: low environmental impact architecture, low impact dwelling, integration design process.

LISTA DE ABREVIATÖES

RTQ-R – Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais

DF – *Daylight fator*

DA – *Daylight autonomy*

DPI – Densidade de potência instalada

COV – composto orgânicos voláteis

CFC – clorofluorcarbonetos

ZB8 – Zona Bioclimática 8

WP – Watts de pico

IEA – *International Energy Agency*

AIA – *American Institute of Architects*

PP – Pré-projeto

EP – Estudo preliminar

AP – Anteprojeto

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Ciclos naturais – habitação bioclimática	20
Figura 2 - Ciclos naturais – habitações convencionais.....	20
Figura 3 - Ciclos naturais – habitação bioclimática	43
Figura 4 - Diagrama Geral dos Procedimentos Metodológicos	61
Figura 5 - Etapas dos procedimentos metodológicos.....	62
Figura 6 - Hierarquia das decisões do problema.....	62
Figura 7 - Descrição e exemplo da planilha excel demonstrando os cálculos	64
Figura 8 - Exemplo de gráfico para avaliação de desempenho térmico	64
Figura 9 - Localização do estudo de caso no Brasil	73
Figura 10 - Localização do terreno da HabtØ.....	73
Figura 11 - Exemplo de esquadria com Tabicão	77
Figura 12 - Zonas e bairros de Natal/RN.....	87
Figura 13 - Localização aérea do terreno.....	87
Figura 14 - Imagem do terreno.....	87
Figura 15 – Conceitos e diretrizes do projeto	88
Figura 16 - Vistas externas da habitação	90
Figura 17 - Planta baixa térreo	91
Figura 18 - Planta pavimento superior	92
Figura 19 - Maquete explodida da estrutura.....	93
Figura 20 - Sombreamento do beiral da fachada Oeste (23 de abril, 16h30).....	95
Figura 21 - Diagrama solar da fachada Oeste (23 de abril, 16h30).....	95
Figura 22 - Gráfico do Impacto da absorvência externa	99
Figura 23 - Gráfico do Impacto das áreas permeáveis.....	100
Figura 24 - Gráfico do Resumo comparativo entre as variações de impacto das aberturas	101
Figura 25 - Gráfico do Impacto do sombreamento	102
Figura 26 - Máscaras de sombra das aberturas envidraçadas conforme projeto arquitetônico.....	102
Figura 27 – Esquema do uso racional de água no estudo de caso.....	111
Figura 28 - Checklist aplicado à HabtØ clima quente e úmido	114
Figura 29 - Estimativa de consumo de água convencional	142
Figura 30 - Estimativa de consumo de água racionalizado	143

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Desempenho térmico mínimo para coberturas e vedações externas (Zona Bioclimática 8)	32
Tabela 2 – Potencial total da fonte de iluminação artificial por ambiente	81
Tabela 3 - Dimensionamento do sistema de aquecimento solar de água	82
Tabela 4 - Sistema de geração de energia fotovoltaica	83
Tabela 5 - Descrição de equipamentos economizadores de água.....	83
Tabela 6 - Transmitância térmica dos elementos da envoltória	98
Tabela 7 - Área efetiva de ventilação por fachada	100
Tabela 8 - Cálculo de abertura para ventilação cruzada	101
Tabela 9 - Descrição de equipamentos do sistema de painel fotovoltaico e coletor solar	108
Tabela 10 - Consumo diário com consumo convencional e sem considerar o aproveitamento de água das chuvas.....	142
Tabela 11 - Consumo diário com equipamentos economizadores.....	143

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Comparativo entre o processo projetual convencional e o processo integrado	55
Quadro 2 - Participação dos membros da equipe na etapa de pré-projeto	57
Quadro 3 - Subcritérios do desempenho térmico	65
Quadro 4 - Subcritérios do desempenho luminoso natural	66
Quadro 5 - Subcritérios do desempenho luminoso artificial	67
Quadro 6 - Subcritérios da gestão de energia: condicionantes projetuais e eficiência do sistema	68
Quadro 7 - Subcritérios da gestão de água: condicionantes projetuais	69
Quadro 8 - Subcritérios dos materiais construtivos: condicionantes projetuais	70
Quadro 9 - Conceito e representação dos subcritérios	72
Quadro 10 - Características do caso base	74
Quadro 11 - Características do caso base (simulação lumínica)	79
Quadro 12 - Subcritérios de desempenho térmico e as etapas do processo projetual	96
Quadro 13 - Resultado geral dos subcritérios de desempenho térmico quanto ao conforto térmico (APÊNDICE A – DESEMPENHO TÉRMICO)	97
Quadro 14 - Subcritérios de conforto luminoso e as etapas do processo projetual	104
Quadro 15 - Resultado de desempenho luminoso dos subcritérios	105
Quadro 16 - Subcritérios de gestão de energia e as etapas do processo projetual	107
Quadro 17 - Resultado do desempenho energético dos subcritérios	108
Quadro 18 - Subcritérios de gestão de água e as etapas do processo projetual	109
Quadro 19 - Resultado dos subcritérios da gestão de água	110
Quadro 20 - Subcritérios de materiais construtivos e as etapas do processo projetual	112
Quadro 21 - Resultado dos subcritérios de materiais construtivos	113

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	15
1 HABITAÇÃO DE BAIXO IMPACTO AMBIENTAL.....	19
1.1 Estratégias bioclimáticas para projetos em clima quente e úmido	21
1.2 Escolha de materiais construtivos	30
1.3 Uso eficiente da água.....	32
1.4 Tecnologias de geração de energia renovável.....	34
2 ESTUDOS DE CASO DE PROJETOS DE BAIXO IMPACTO AMBIENTAL	37
2.1 Casa Eficiente	37
2.2 Solar Decathlon.....	40
2.3 Casa 'Block 180' (Noruega).....	49
2.4 Reflexões dos estudos de caso.....	50
3 PROCESSO PROJETUAL INTEGRADO	52
3.1 Conceitos e princípios de processo projetual integrado	52
3.2 Fases do processo projetual integrado.....	56
4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	61
4.1 Determinação dos critérios de impacto ambiental e parâmetros.....	62
4.2 Avaliação das decisões nas fases projetuais	71
4.3 Estudo de caso.....	72
4.4 Discussão dos resultados.....	84
5 ANÁLISE.....	86
5.1 O projeto.....	86
5.2 Conforto térmico	96
5.3 Conforto luminoso	104
5.4 Gestão de energia.....	106
5.5 Gestão de água	109
5.6 Materiais construtivos.....	112
5.7 Síntese dos multicritérios	113
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	118
REFERÊNCIAS	125
APÊNDICE A – DESEMPENHO TÉRMICO	131
APÊNDICE B – CHECKLIST DOS MULTICRITÉRIOS	134
APÊNDICE C – SISTEMA AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA	135

APÊNDICE D – SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA	140
APÊNDICE E – MEMÓRIA DE CÁLCULO (ÁGUA).....	142
APÊNDICE F – DESEMPENHO LUMÍNICO	145
APÊNDICE G – PAINÉIS FOTOVOLTAICOS E COLETOR SOLAR.....	147
ANEXO A – ENCE DE PROJETO	148
ANEXO B – TABELA DO INMETRO DE COLETORES SOLARES	149
ANEXO C – TABELA DO INMETRO DE RESERVATÓRIOS TÉRMICOS...	150
ANEXO D – CATÁLOGO FABRICANTE DO PAINEL FOTOVOLTAICO	151

INTRODUÇÃO

As estratégias necessárias para garantir a disseminação de construções saudáveis e de baixo impacto em termos ambiental, econômico e social nos últimos anos têm se pautado na busca pelo desenvolvimento sustentável. Segundo Brundtland (1987), o desenvolvimento sustentável deve responder às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazer as suas próprias necessidades.

Sobreira *et al.* (2007) coloca que, se por um lado, a indústria da construção é uma das principais responsáveis pelas ações de impacto socioambiental, por outro lado é um segmento que tem grande potencial de contribuição para a redução desses impactos. O novo desafio é o desenvolvimento de projetos que atendam às demandas econômicas, ao bem-estar social e aos aspectos ambientais associados ao uso racional (economia e eficiência) dos recursos do planeta, tanto na sua exploração e aplicação como na sua reciclagem (ciclo de vida), descarte e decomposição, conforme abordagem de Silva (2001).

As questões ambientais, necessidades econômicas e sociais relativas à construção civil, através da construção, operação e manutenção das edificações tem proporcionado reflexões quanto à necessidade de conservação do uso de recursos naturais (materiais, água) e da energia. Busca-se, por exemplo, a redução do consumo de energia por meio do uso racional com o incentivo da concepção de edificações com menor impacto ambiental e maior eficiência energética, através de políticas públicas, emprego de novas tecnologias, conscientização de agentes (arquitetos, engenheiros, clientes, etc.) e investimentos em pesquisa.

O surgimento de certificações, como a metodologia brasileira para a classificação do nível de eficiência energética através do programa PROCEL PBE-Edifica, consolida a constatação de que é mais viável economicamente investir no uso eficiente da energia disponibilizada, para reduzir a demanda e os investimentos em implantação de novas usinas.

Produto da Política Nacional de Conservação de Energia, os regulamentos técnicos de eficiência energética de edifícios foram lançados em 2009 (BRASIL, 2010) para uso comercial, público e de serviços, e em 2010 (BRASIL, 2012) para uso residencial, visando incentivar, orientar e tornar obrigatórias as práticas de conservação de energia a partir de critérios de desempenho energético, pautados no

uso de recursos passivos e estratégias bioclimáticas. Por enquanto, a aplicação da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia para uso residencial não é obrigatória, mas, a exemplo das edificações públicas federais, se tornará compulsória. (BRASIL, 2014).

Segundo McDonough; Braungart (2002) a transformação da arquitetura atual em uma arquitetura sustentável e de baixo impacto não acontecerá de imediato e vai requerer um processo de tentativa e erro, tempo, esforço, recursos, vontade e criatividade - estendido a várias direções, para que esta se concretize de forma mais plena.

Muitas vezes a arquitetura de baixo impacto ambiental é tida única e erroneamente como aquela que possui preocupação com a questão energética. Contudo, esse tipo de arquitetura busca a criação de espaços saudáveis, viáveis economicamente e sensíveis às necessidades sociais, culturais e ambientais. (EDWARDS, 2004).

A solução de problemas quanto ao ambiente construído pode ser inviabilizada caso as decisões de projeto não sejam tomadas no momento ideal. Tão importante quanto as diretrizes projetuais com ênfase no baixo impacto ambiental, é o momento de sua inserção no processo de projeto. Corroborando com essa relação entre as questões de impacto ambiental com processo de projeto, surge uma questão: **qual é o melhor momento para incorporar cada critério ambiental nas etapas de projeto?**

A etapa inicial de projeto é a fase que oferece o maior potencial para a obtenção dos melhores desempenhos ambientais das edificações. Constata-se, desta forma, a importância de se aprimorar o processo de projeto, viabilizando a interoperabilidade entre os atores que fazem parte dele na realização de todos os projetos da edificação. (SALGADO, CHATELET, FERNANDEZ, 2012).

Na concepção de projetos com ênfase no baixo impacto ambiental, o processo projetual é essencial para orientar e integrar as considerações técnicas, ambientais, sociais e econômicas. A tomada de decisões ao longo do processo de projeto, no que diz respeito às estratégias escolhidas para uma habitação de baixo impacto ambiental e a influência da etapa onde cada solução deve ser empregada é uma dificuldade encontrada pelos projetistas. A seleção de estratégias projetuais, materiais de construção, soluções de uso eficiente de água e energia deve ser abordado como um problema de decisão multicritérios.

Segundo Lima (2012), normas que definem recomendações projetuais são um dos principais instrumentos de auxílio à tomada de decisões empregados pelos projetistas. Existem normas estabelecendo essas recomendações, que são voltadas para o desempenho térmico e energético de edificações e avaliação do desempenho condizente com o clima do lugar. No contexto brasileiro, as principais normas são a NBR 15220 (ABNT, 2005a), a NBR 15575 (ABNT, 2013a) e o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais – RTQ-R. (INMETRO, 2010).

Dentro desse contexto, o desenvolvimento deste trabalho estabelece a relação entre as Habitações de Baixo Impacto Ambiental e o Processo Projetual Integrado através da análise multicritério de impacto ambiental. O universo de estudo desta pesquisa abarca locais de clima quente e úmido, com enfoque na cidade de Natal/RN, onde está localizado o estudo de caso.

Assim, apresenta-se como objetivo dessa dissertação analisar o desempenho de uma habitação de baixo impacto ambiental no clima quente e úmido, e relacionar as soluções adotadas dentro do processo projetual.

Os objetivos específicos são:

- Entender os critérios que influenciam na obtenção de uma habitação de baixo impacto ambiental;
- Estabelecer os parâmetros para análise dos critérios de desempenho das soluções construtivas empregadas no estudo de caso;
- Sistematizar as soluções dentro do processo projetual integrado relativo à habitação de baixo impacto ambiental.

O emprego de sistemas construtivos com baixo desempenho ambiental, o desconforto térmico e luminoso em edificações residenciais e o aumento do consumo energético são alguns fatores que influenciam questões ambientais e econômicas do dia-a-dia de todos os usuários. O tema abordado contribuirá com a análise das habitações de baixo impacto ambiental para o clima quente e úmido, e o potencial de aplicação do processo projetual integrado visando o menor impacto ambiental.

Duas limitações do estudo foram que os multicritérios analisados estão condicionados ao estudo de caso, de forma que outros estudos podem ser deter a outros critérios. Assim como não foi possível fazer uma estimativa do custo financeiro e do custo-benefício das soluções adotadas, que seria uma grande contribuição para o entendimento da aplicação do projeto diante do contexto do mercado de Natal.

A dissertação foi estruturada em sete capítulos, sendo o primeiro o capítulo de introdução. Os três capítulos seguintes referem-se à revisão bibliográfica, o quinto descreve os procedimentos metodológicos, o sexto inclui as análises e o último as considerações finais. O capítulo 1 conceitua a habitação de baixo impacto ambiental com estratégias específicas para o clima quente e úmido. O capítulo 2 descreve estudos de caso que visaram o baixo impacto ambiental em habitações. O capítulo 3 trata do processo projetual integrado, descrevendo seus conceitos e princípios assim como as fases do processo projetual. O capítulo 4 descreve os procedimentos metodológicos da pesquisa, apresentando os multicritérios de impacto ambiental estudados, a sistemática de integração com as fases projetuais, a caracterização do estudo de caso além da descrição dos parâmetros utilizados nas simulações computacionais. O capítulo 5 apresenta as principais análises e os resultados obtidos quanto à aplicação no estudo de caso. O último capítulo reúne as principais conclusões, sugere limitações do trabalho e indica abordagens para pesquisas futuras.

1 HABITAÇÃO DE BAIXO IMPACTO AMBIENTAL

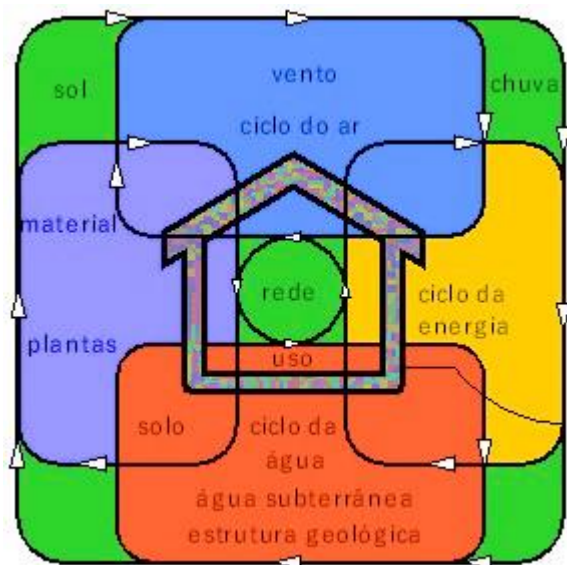
Para a contextualização desta pesquisa a “habitação de baixo impacto ambiental” em clima quente e úmido será definido a partir do conceito de arquitetura bioclimática, com base nas estratégias de projeto, nas tecnologias e nos parâmetros de desempenho que devem orientar as análises e estudos em função de sua importância para o clima.

O termo “arquitetura bioclimática” foi introduzido pela primeira vez pelos irmãos Olgyay (1963) na década de 60, e se estabeleceu como uma arquitetura que busca utilizar, por meio de seus próprios elementos, as condições favoráveis do clima com o objetivo de satisfazer às exigências de conforto térmico do homem.

Posteriormente o termo foi ampliado por Givoni (1976), quando incorpora ao conceito a preocupação em reduzir o consumo de energia com o uso de sistemas ativos dos edifícios. Para ele, o projeto bioclimático deve ser utilizado na edificação como um controle para as condições climáticas do local a fim de proporcionar conforto ambiental para o usuário. Para Lima (1995), o projeto bioclimático trata do controle de fluxo de energia entre o entorno e o ambiente construído para fins de conforto e bem-estar dos usuários. Além de procurar minimizar o consumo energético, a partir de uma arquitetura adaptada ao meio ambiente, esta também é sensível ao impacto na natureza e degradação ambiental. (FRANÇA, CRUCINSKY, 2010).

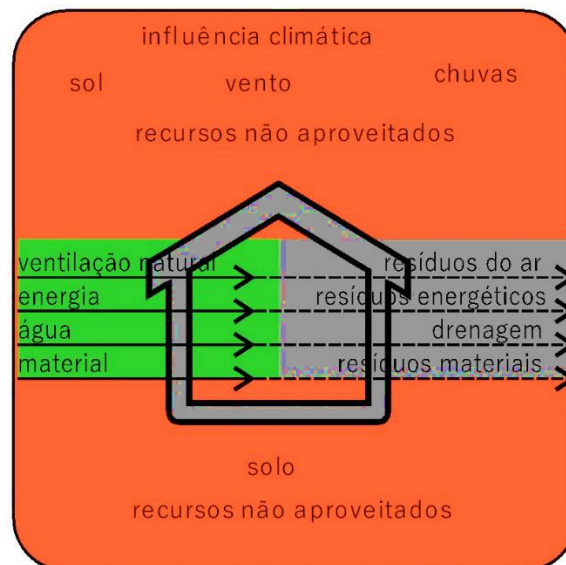
Uma habitação bioclimática deve ser completamente integrada aos ciclos da natureza e ser capaz de aproveitá-los sem causar danos (Figura 1). A interação aos elementos básicos do solo, água, energia e ar deve ser cuidadosamente considerada e integrada no projeto. Edifícios convencionais não usam recursos do seu entorno natural de forma efetiva, e consomem energia e materiais, além de produzir resíduos (Figura 2). Tais edificações criam problemas ambientais e de custos pela ampla necessidade e dependência das instalações de abastecimento (água e energia) e de eliminação de resíduos.

Figura 1 - Ciclos naturais – habitação bioclimática



Fonte: Adaptado de BUTERA,ADHIKARI ,ASTE (2014)

Figura 2 - Ciclos naturais – habitações convencionais



Fonte: Adaptado de BUTERA,ADHIKARI ,ASTE (2014)

O projeto bioclimático deve ser pensado de forma integrada, agregando diversos elementos e estratégias. Edifícios sustentáveis de alto desempenho são otimizados, pois reúnem o alto desempenho ambiental, o grande conforto e qualidade no uso e operação à concepção arquitetônica atraente. (LÖHNERT,DALKOWSKI ,SUTTER, 2003).

Tendo em vista os princípios básicos de “construir com o clima”, tem-se na afirmação de uma arquitetura decididamente adaptada ao clima dos trópicos, uma clara expressão cultural e a perfeita adequação ao clima, com conteúdo humano, sensibilidade social e adequação ao meio. (HOLANDA, 1976).

Desta forma, a concepção de um projeto bioclimático depende da compreensão pelo arquiteto da relação entre o interior da edificação e o meio ambiente. Entretanto, segundo Oliveira (2006), devido à falta de entendimento sobre o impacto das decisões projetuais e dos fenômenos físicos envolvidos na relação entre clima, edificação e usuário, o projetista tem negligenciado o desempenho térmico e energético das edificações. Segundo Lima (1995) a importância do sentido visual é inegável, e continua a ser de grande relevância para aqueles que projetam. A aparência e os critérios estéticos de uma edificação são colocados à frente de sua utilidade e desempenho energético.

Como consequência e a fim de suprir as deficiências de projeto e as necessidades de conforto dos usuários, o projetista recorre frequentemente ao uso

dos sistemas ativos de condicionamento de ar e iluminação artificial, desconsiderando os impactos negativos dessa decisão como: perda do bem-estar físico e mental, baixa produtividade, o grande gasto de energia ou até mesmo comprometimento da saúde. (OLIVEIRA, 2006).

A arquitetura bioclimática, ou de alta eficiência energética, está se convertendo no pilar de aproveitamento da energia renovável, mediante adequação do projeto, geometria, orientação e construção do edifício, bem como as condições climáticas de seu entorno. (PINTO, 2009).

Este estudo considera uma habitação bioclimática como: “uma edificação que procura alcançar o máximo de conforto ambiental aos usuários com o mínimo de consumo energético e impacto ambiental”. Para isto, baseia-se na análise das condições ambientais e no uso de materiais locais, ou seja, os que devem ser extraídos e beneficiados próximo ao local de execução da obra, minimizando os custos de transporte. Leva-se também em consideração as escolhas de materiais, uso eficiente de água e energia, tecnologias de geração de energia, condições do terreno, os efeitos sobre o entorno em termos de produção de resíduos, a trajetória solar, a ventilação natural, entre outros requisitos e estratégias, aplicando estas diretrizes na distribuição e orientação dos espaços e aberturas.

1.1 Estratégias bioclimáticas para projetos em clima quente e úmido

As estratégias comumente aplicadas na arquitetura bioclimática são classificados em passivas ou ativas (GONZALEZ, 2004). Na arquitetura passiva para o clima quente e úmido, as variáveis climáticas que o arquiteto pode usar para criar ambientes com conforto térmico e visual são: radiação solar e ventilação natural, enquanto que as variáveis arquitetônicas são: orientação e forma do edifício, sistema construtivo, materiais da envoltória (transmitância dos sistemas e absorvância à radiação solar das superfícies), tamanho da abertura e tipo de vidro.

Quanto às estratégias ativas para o clima quente e úmido, uma parcela expressiva dos gastos energéticos nas edificações é com a refrigeração e iluminação artificial dos ambientes. A redução no crescimento do consumo de energia nos edifícios não se limita a uma mudança na prática projetual do arquiteto, mas também à adaptação da mentalidade e do perfil de consumo dos usuários. (BUTERA, ADHIKARI, ASTE, 2014).

1.1.1 Estratégias passivas

O termo “estratégia passiva” refere-se àquelas características arquitetônicas que aproveitam os recursos climáticos locais para fornecer um ambiente interno o mais confortável possível, reduzindo assim o consumo de energia devido à necessidade de condicionamento artificial do ar. (BUTERA,ADHIKARI ,ASTE, 2014).

A combinação de um edifício concebido a partir das estratégias bioclimáticas e recomendações de condicionamento passivo juntamente com uma mudança de princípios de conforto, pode reduzir drasticamente o consumo de energia para ar condicionado e proporcionar boas condições de conforto.

As variáveis ambientais consideradas nas estratégias passivas incluem a temperatura do ar, radiação solar, velocidade do ar, umidade relativa, qualidade do ar interno, níveis de iluminação, ruído, etc. (LIMA, 1995).

De acordo com Szokolay (2004), a melhor estratégia passiva para o clima quente e úmido é evitar que a temperatura no interior da edificação seja maior que a do exterior. Desta forma, o objetivo é manter a temperatura interna igual à temperatura externa.

As principais estratégias que devem ser consideradas para um projeto adequado ao clima quente e úmido (WONG ,LI, 2007) são:

- *Manter constante a movimentação do ar, seja de forma natural ou mecânica.*
- *Controle da radiação solar nas superfícies;*
- *Diminuir o ganho térmico durante o dia e maximizar a perda à noite;*
- *Diminuir as cargas internas de calor;*

As características da edificação como propriedades termofísicas da envoltória, elementos de sombreamento ou exposição solar, ventilação ou estanqueidade, massa térmica, dentre outras, mais influentes no conforto térmico e no consumo de energia do condicionador de ar devem ser consideradas.

Existem normas estabelecendo essas recomendações projetuais que são voltadas para o desempenho térmico e energético de edificações e avaliação do desempenho condizentes com o clima do lugar, como a NBR 15220 (ABNT, 2005a), a NBR 15575 (ABNT, 2013a) e o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais – RTQ-R (INMETRO, 2010). Ainda que normas sejam um dos principais recursos projetuais, os “princípios” são ainda mais populares entre os arquitetos, conforme pesquisa de Pedrini (2003).

Normas que definem recomendações projetuais são um dos principais instrumentos de auxílio à tomada de decisões empregados pelos projetistas (LIMA, R. V. D. S., 2012). A NBR 15220 (ABNT, 2005a) apresenta o zoneamento bioclimático brasileiro e estabelece recomendações bioclimáticas para diferentes cidades brasileiras.

O clima quente e úmido corresponde à zona bioclimática 8 e as principais recomendações da NBR 15220 (ABNT, 2005a) são a ventilação cruzada permanente para a remoção do calor do interior das edificações e o sombreamento das aberturas, para evitar o ganho por radiação solar.

Já a NBR15575 estabelece parâmetros de transmitância térmica de paredes e coberturas para edificações nas diferentes zonas bioclimáticas.

A seguir serão apresentadas as principais estratégias passivas projetuais (consideradas no estudo) adequadas ao clima quente e úmido: sombreamento, ventilação natural, isolamento térmico, iluminação natural.

1.1.1.1 Ventilação natural

A estratégia fundamental no clima quente e úmido, e a segunda mais importante para os climas do Brasil, é a ventilação. Szokolay (2004) destaca a ventilação como a principal estratégia de resfriamento passivo possível no clima quente e úmido.

O termo ventilação natural é usado para indicar o fluxo de ar intencional através das janelas, portas ou outras aberturas, obtido sem a utilização de ventiladores ou sistemas mecânicos. É criada por diferenças de pressão causadas pelo vento e/ou por diferenças de temperatura entre o interior e o exterior. (PROJETEEE, 2014).

A ventilação natural afeta três questões (BUTERA,ADHIKARI ,ASTE, 2014): a saúde, o equilíbrio energético do edifício e o conforto térmico. Ela influencia a saúde por causa da relação entre as renovações e qualidade do ar. Afeta o equilíbrio energético dos edifícios, porque o fluxo de ar pode proporcionar a remoção de calor interno da edificação se a temperatura do ar externo for menor do que a temperatura do ar interno. O conforto térmico também é indiretamente afetado como consequência da mudança na temperatura do ar interior de edifícios devido à ventilação. Com a remoção de calor interno e o aumento da perda de calor dos indivíduos devido ao movimento do ar, a sensação de conforto ou desconforto dos ocupantes de uma edificação é influenciada (NEGREIROS, 2010). A velocidade do ar afeta o equilíbrio

de energia do corpo através da troca por convecção e transpiração: quanto maior a velocidade do ar e quanto menor for a temperatura do ar em relação à pele da pessoa, maior o resfriamento e a perda de calor do corpo. (BITTENCOURT ,CÂNDIDO, 2010).

A ventilação natural é eficaz entre temperaturas de 20°C a 32°C, pois a partir daí os ganhos por convecção funcionariam mais como aquecimento do ambiente do que como resfriamento; abaixo de 20°C a ventilação remove muito calor do corpo, provocando sensação de desconforto ao frio nos usuários. Em temperaturas entre 27°C e 32°C, a ventilação só é eficiente se a umidade relativa do ar tiver valores entre 15% e 75% (LAMBERTS,DUTRA ,PEREIRA, 2014). GIVONI (1992) afirma que a velocidade interna do ar máxima permitida é de cerca de 2 m/s, de forma que com a ventilação, o conforto é mantido em condições de temperatura exterior de até 32°C.

Por causa dos efeitos sobre o balanço energético do edifício e no conforto térmico, a alta vazão de ar e velocidade do ar, portanto, são benéficos o dia todo em clima quente e úmido. A ventilação natural é mais eficaz quando há movimento do ar no nível do usuário e quando provém o mesmo com ar mais fresco (BITTENCOURT ,CÂNDIDO, 2010). Existem várias maneiras de explorar a ventilação natural no projeto arquitetônico. Em geral, é recomendável orientar as aberturas na direção dos ventos dominantes, de maneira a assegurar a entrada do ar pela habitação. A ventilação cruzada é uma das técnicas mais eficientes num ambiente. (LAMBERTS,DUTRA ,PEREIRA, 2014).

A ventilação cruzada apresenta melhor resultado quando as entradas de ar são localizadas na área de alta pressão – pressão maior ou área que recebe os ventos – e as saídas de ar localizadas na área de sucção – pressão menor (BROWN ,DEKAY, 2001). As aberturas de entrada e saída podem estar situadas em paredes opostas, adjacentes ou na mesma parede. Mesmo com aberturas situadas em paredes opostas pode não ocorrer a movimentação do ar nos ambientes, pois as duas aberturas podem ter a mesma pressão. O projetista deve observar a velocidade e direção dos ventos ao elaborar seu projeto. Para Szokolay (2004), a abertura de entrada deve estar com inclinação de até 45° em relação à direção dos ventos dominantes nos períodos mais quentes, para facilitar essa captação dos ventos. O projetista também pode se valer de elementos direcionadores de ventos para facilitar a entrada dos ventos.

Com relação à implantação da edificação, a recomendação para melhor aproveitamento da ventilação natural é que a mesma seja locada no meio do lote, proporcionando à edificação recuos, recomendados por potencializar a percolação

dos ventos (SZOKOLAY, 2004). Outras recomendações sobre ventilação natural são: a elevação da construção sobre pilotis para expor a edificação; a possibilidade do uso de vegetação do entorno para defletir os ventos; a limitação da profundidade do edifício para facilitar o fluxo de ar entre fachadas opostas, facilitando a ventilação cruzada.

1.1.1.2 Sombreamento

O sombreamento é a estratégia bioclimática mais importante para o Brasil, recomendada pela NBR 15220 (ABNT, 2005a) para a maior parte do território devido aos verões quentes e de muita incidência solar. Esta estratégia deve ser utilizada sempre que a temperatura do ar for superior a 20°C, mesmo em condições de conforto térmico.

Seja em ambientes condicionados artificialmente ou naturalmente ventilados, o objetivo do sombreamento é controlar o ganho térmico da radiação solar direta para garantir o conforto térmico, luminoso e consequentemente o consumo mínimo de energia. Desta forma, o uso da estratégia de sombreamento implica o bloqueio da radiação solar direta, ao mesmo tempo em que deve permitir a entrada de iluminação e ventilação natural, em ambientes que utilizam esta estratégia, assim como o contato visual com o exterior.

Existem muitos métodos para avaliar a eficiência do sombreamento sobre as aberturas ou sobre a envoltória da edificação, com base na utilização de diagramas ou de ferramentas analíticas. Os elementos de sombreamento podem ser pré-dimensionados por meio do programa *Sun Tool* (MARSH, 2001). O programa permite verificar se o tipo e forma dos protetores são adequados e otimizados para o sombreamento desejado.

As principais técnicas de sombreamento são o uso de proteções solares ou brises, beirais de telhado generosos, marquises, sacadas, persianas, venezianas ou outro protetor interno, a orientação adequada do projeto e o uso de vegetação. (LAMBERTS,DUTRA ,PEREIRA, 2014).

Primeiramente é necessário evitar a entrada de calor pela envoltória (CORBELLA ,YANNAS, 2003) através das seguintes diretrizes:

- Dificultar a chegada da radiação às superfícies opacas do edifício e;
- Posicionar o edifício de maneira a obter a mínima carga térmica devido à energia solar;

- Proteger as aberturas contra a entrada da radiação direta;
- Minimizar a absorção da radiação e a transmissão do calor pelas superfícies externas.

Outros cuidados devem ser levados em conta na escolha e implementação dos elementos de sombreamentos (BUTERA,ADHIKARI ,ASTE, 2014), como: utilização de sistemas de sombreamento externo sempre que possível; eles são muito mais eficazes do que os sistemas de sombreamento internos para controlar os ganhos solares, especialmente se o espaço é artificialmente condicionado; uso de elementos horizontais para aberturas nas fachadas sul e norte; uso de sistemas como segunda pele nas fachadas leste e oeste; adoção de sistemas externos de proteção solar de cores claras se for desejável a transmissão da radiação solar difusa, e em cores escuras para bloquear a luz; escolha dos materiais e propriedades dos elementos de sombreamento, que devem ter alta resistência térmica, para evitar a absorção e consequente retransmissão do calor para o interior da edificação; utilização dos sistemas de proteção móveis sempre que possível, a fim de permitir uma aplicação mais eficiente da luz e ventilação natural. No caso de haver limitações de projeto, usar sistemas fixos de proteção.

Quanto à forma da edificação, para reduzir a incidência de radiação Olgyay (1963) propõe o formato alongado, no sentido leste-oeste, como melhor opção para as regiões com clima quente e úmido. Esta forma implica em fachadas menores expostas às orientações com incidência de radiação solar direta diariamente (Oeste/Leste).

1.1.1.3 Isolamento térmico

O isolamento térmico em clima quente e úmido tem que ser considerado para reduzir o ganho de calor pelas paredes e especialmente pela cobertura, uma vez que é grande o aporte de radiação solar incidente nas superfícies opacas.

Pela proximidade com a linha do Equador, onde a trajetória solar está perto do seu zênite, os telhados recebem radiação muito intensa, muito mais do que as paredes. Ao contrário delas, este não pode ser facilmente protegido, desta forma, o isolamento da cobertura é o mais crítico.

A otimização do isolamento para cobertura depende de uma variedade de fatores (BUTERA,ADHIKARI ,ASTE, 2014): a temperatura exterior, a resistência e a

inércia térmica do material e sistema construtivo utilizado, a velocidade do ar, a intensidade da radiação incidente, a absorvância e a emissividade.

Na prática, para evitar o ganho de calor pelas coberturas, Szokolay (2004) propõe soluções como: telhado com superfície refletora; forro separado, formando um sótão; ventilação adequada no espaço do sótão; superfície refletora, com baixa emissividade, para o lado de dentro do telhado; isolamento no forro ou sob a coberta.

Quanto aos elementos opacos da envoltória, a NBR 15220 (ABNT, 2005a) recomenda vedações externas leves e claras, para refletir grande quantidade de radiação e evitar que o calor fique acumulado nos elementos de vedação.

1.1.1.4 Iluminação natural

A iluminação natural é essencial para a arquitetura bioclimática, a fim de proporcionar conforto visual, isto é, permitir a execução das atividades visuais considerando acuidade e segurança com menor esforço, por meio do atendimento da iluminância, e sem ofuscamentos (CORBELLÀ, YANNAS, 2003). O emprego da luz natural adequado ao ambiente construído reduz o consumo de energia elétrica, ao mesmo tempo, diminui os ganhos térmicos internos causados pela iluminação artificial. Seus benefícios se estendem à qualidade ambiental, bem-estar nos usuários, saúde física e mental, estética e economia de recursos. (CORBELLÀ, YANNAS, 2003; CINTRA, 2011).

De forma geral, no clima quente e úmido, a abóbada celeste tem características de céus nublados e iluminância mais uniforme (BUTERA, ADHIKARI, ASTE, 2014). Os requisitos de iluminação natural são geralmente classificados em quantitativo e qualitativo. As necessidades quantitativas referem-se ao nível de iluminação interior e os requisitos qualitativos estão relacionados com a distribuição de iluminância no campo visual. O alto conteúdo energético de luz da radiação solar direta provoca ofuscamento facilmente (CARVALHO, 2014) e o calor gerado no interior dos ambientes é uma das principais fontes de cargas térmicas em climas tropicais. (PEDRINI, 2003; RODRIGUES, 2014).

O nível iluminância interior varia dependendo principalmente da distância desde a abertura até a área de trabalho. O fluxo luminoso incide no ambiente interno a partir de três caminhos, constituindo a soma da luz direta proveniente do céu, da luz refletida a partir das superfícies dos edifícios do entorno ou a partir do solo, e da luz refletida a partir das superfícies internas do ambiente (teto, paredes e chão). As principais

variáveis externas são a radiação solar direta e difusa, a nebulosidade e os níveis externos de iluminância e luminância dependentes das condições de céu e da latitude do lugar. (VIANNA ,GONÇALVES, 2001).

A avaliação da quantidade e qualidade da luz natural nos espaços pode ser realizada por parâmetros estáticos ou dinâmicos. Um índice conhecido como *daylight factor* (DF) foi desenvolvido e expressa a relação entre o nível de iluminação num ponto interior com relação ao exterior num plano horizontal, sem obstruções, de forma estática. O *daylight factor* é regulada por normas estabelecidas e a sua conformidade com estas depende da dimensão e tipo das janelas, da profundidade e da forma do ambiente, da localização e dispositivos de sombreamento, da obstrução fornecida pelo entorno, e da cor das superfícies externas e internas. Este parâmetro possui grandes limitações por não considerar variáveis essenciais da luz natural como a orientação da abertura, a latitude do lugar, a penetração da luz do sol e as condições climáticas, sendo substituído recentemente por avaliações dinâmicas a partir de uma base anual. (REINHART,MARDALJEVIC ,ROGERS, 2006; CARVALHO, 2014).

Diferentemente do *Daylight Factor* (DF) e dos parâmetros estáticos, limitados a análises para uma hora de um dia específico, os parâmetros dinâmicos consideram um ano climático completo, por meio do arquivo climático do lugar, a variação temporal e espacial do céu, a orientação do ambiente com relação ao sol, a ocorrência de insolação direta e os níveis horários de iluminação natural absoluta (DIDONÉ ,PEREIRA, 2010). Os principais parâmetros dinâmicos utilizados atualmente são o *daylight autonomy* (DA) (REINHART; WALKENHORST, 2001 apud DIAS, 2016) e *useful daylight illuminances* (UDI). (NABIL; MARDALJEVIC, 2005 apud DIAS, 2016).

As recomendações para o melhor aproveitamento da iluminação natural são uso de cores claras no exterior para contribuir com a incidência de luz natural no interior, porque aumentam a luz refletida chegando; tamanho apropriado e eficaz das aberturas, com proporções e localização que facilitem a incidência da luz natural.

Além dos requisitos quantitativos para o nível mínimo de iluminação interior, requisitos qualitativos estão relacionados com a distribuição uniforme do interior da luz do dia. A proporção de níveis mínimos e máximos de iluminância dentro do ambiente deve ser controlada para evitar grandes diferenças de luminosidade no campo visual. Outro impacto sobre os requisitos qualitativos para o conforto visual é causado pela incidência de luz solar direta, cuja reflexão pode causar ofuscamento, além do aporte de carga térmica.

1.1.2 Estratégia ativa

Neste subitem, serão apresentadas as estratégias ativas: ventilação mecânica e iluminação artificial.

1.1.2.1 Ventilação mecânica

Em muitas ocasiões a ventilação natural não funciona corretamente, às vezes porque a orientação não está adequada, ou porque a velocidade do vento não é suficiente, e em alguns casos o ruído externo (urbano, tráfego, etc.) impossibilita que as aberturas sejam matidas abertas para a ventilação natural. Nestas situações, é necessário recorrer a mecanismos que possibilitem o uso de ventilação de forma eficaz. Esse tipo de mecanismo pode ser mecânico, como: ventiladores de teto, extratores ou impulsionadores que são usados quando a ventilação natural é insuficiente. Devem ser combinados com estratégias de ventilação natural, para obter melhores resultados.

Os ventiladores de teto são também úteis quando utilizados em conjunto com o ar condicionado, pois o aumento da velocidade do ar significa que a temperatura do ar no termostato pode ser aumentada, com o mesmo nível de conforto, mas um menor consumo de energia (BUTERA,ADHIKARI ,ASTE, 2014). Esta economia no consumo de energia é na ordem de 15 a 20%, se o termostato for ajustado, por exemplo, de 28°C em vez de 26°C, mantendo o mesmo nível de conforto.

1.1.2.2 Iluminação artificial

A iluminação artificial é essencial para atender os níveis de iluminância mínimos necessários para a execução de atividades durante as horas do dia em que a iluminação natural não atinge os níveis mínimos adequados ou quando é inexistente. É importante garantir o acesso a níveis mínimos de iluminação nos ambientes internos para permitir o desempenho das atividades por seus usuários em condições de conforto e salubridade. A norma ISO/CIE 8995-1 (2013b) define níveis mínimos de iluminância necessários para diferentes tipos de atividades em ambientes de trabalho. A NBR 15575 (2013a) estabelece limites mínimos de 60 lux com relação ao uso residencial.

O consumo de energia pela iluminação artificial pode ser de até 20% do consumo total de uma residência. Além do consumo, a iluminação artificial também gera carga térmica. Logo, a redução do consumo energético pelo uso de equipamentos de iluminação (lâmpadas e luminárias) eficiente, e pela integração de

sistema de controle de acionamento, influencia no consumo direto, utilizado para gerar luz, e no consumo indireto, decorrente do calor gerado nesse processo. Desta forma, um sistema de iluminação é considerado eficiente se fornecer o conforto luminoso (níveis adequados de iluminâncias) de acordo com a atividade, consumindo o mínimo de energia e gerando a menor carga térmica possível.

1.2 Escolha de materiais construtivos

Os materiais de construção desempenham um papel significativo na arquitetura bioclimática. Características como a taxa de fluxo de calor, o atraso e a amplitude térmica, bem como a capacidade de armazenamento de energia do edifício são todos determinados pelos materiais utilizados, assim como a introdução de materiais de baixa energia no processo de produção e manufatura que possibilitem a reutilização ao longo do seu ciclo de vida. A escolha de materiais é, portanto, essencial do ponto de vista tanto do desempenho térmico quanto para viabilizar as construções de baixo impacto ambiental.

Algumas das vantagens de materiais de construção e métodos tradicionais são sua oferta abundante, baixo impacto ambiental, baixo custo e boa resposta ao clima (BUTERA,ADHIKARI ,ASTE, 2014). Além disso, os principais aspectos na seleção deles são durabilidade e resistência ao tempo que podem ser manipulados por mão de obra local, que estão familiarizados tanto com a produção quanto a reparação de construções tradicionais. (SILVA, 2012).

Os materiais caracterizados por baixa energia no processo de produção e manufatura são duráveis e usados para reciclagem e reutilização. Os materiais de construção tradicionais são feitos principalmente a partir de materiais naturalmente disponíveis, tais como madeira, argila, pedra e areia (BUTERA,ADHIKARI ,ASTE, 2014). Existem também outros materiais duráveis e recicláveis, como o aço e alumínio, mas que consomem muita energia na sua fabricação. A seleção de materiais adequados deve ser impulsionada por considerações locais e ambientais.

Entretanto, ao longo do século XX, os sistemas artificiais supriram as necessidades que os ambientes passaram a demandar por se tornar insensível ao clima. Esse processo foi agravado pelo estilo internacional que promove o modismo e uniformização da arquitetura, independentemente das características climáticas do lugar (BITTENCOURT ,CÂNDIDO, 2010). Nesse contexto, o uso de materiais de construção industrializados, como por exemplo aço, vidro e cimento, vem sendo

amplamento aplicado nas cidades. Estes são materiais caracterizados por um alto impacto ambiental, especialmente quanto à energia no processo de produção e manufatura. Desta forma, é desejável focar em materiais alternativos que combinam tradição e inovação, a fim de reduzir custos e consumo de energia.

Nesse contexto, OLIVEIRA (2016) enfatiza que a madeira deve ser reapresentada à sociedade atual como alternativa a esses materiais tradicionalmente utilizados, tais quais, metais, plásticos, aço e compostos de cimento. Atualmente no Brasil, o principal emprego da madeira se dá de forma secundária, como fôrmas de concreto armada, escoramentos, para estrutura de coberturas, estacas, esquadrias e mobiliários.

O uso mais intenso da madeira na construção é uma alternativa de baixo impacto ambiental aos outros materiais convencionais, por ser um material natural, renovável, reciclável e capaz de armazenar dióxido de carbono.

Entretanto, o emprego de novas tecnologias não deve ser desconsiderado, uma vez que venha a contribuir para um melhor desempenho térmico. A utilização da estrutura metálica e telha termo acústica tem várias vantagens como: leveza, isolamento, fácil montagem, modulação e industrialização dos componentes.

As recomendações para materiais construtivos, tendo em conta o clima e sustentabilidade, são: redução da quantidade de material utilizado; uso eficiente dos materiais; reuso de materiais; emprego de materiais com baixa energia no processo de produção e manufatura; baixo impacto ambiental para produção; uso de materiais locais e naturais, especialmente renováveis como a madeira, palha, etc. ou materiais não renováveis, como pedra e barro, uma vez que podem ser reutilizados ou reciclados; emprego de materiais e componentes duráveis; aproveitar a mão de obra local; utilizar tintas acrílicas à base de água, colas sem ou baixos compostos orgânicos voláteis (COV) para uso interno; minimizar o emprego de componentes metálicos, conexões e acessórios; e evitar o uso de produtos que contenham amianto e CFC. (BUTERA,ADHIKARI ,ASTE, 2014).

As recomendações para os sistemas construtivos, levando em consideração a sustentabilidade, são: prever flexibilidade e adaptabilidade do projeto para novos usos e expansões; projetar considerando a racionalização e modulação dos ambientes; fazer uso da pré-fabricação.

Sobre o desempenho térmico dos materiais, no Brasil foi desenvolvida a norma brasileira para o desempenho térmico de edificações, a qual apresenta os valores

admissíveis para transmitância térmica, atraso térmico e fator solar para as distintas zonas bioclimáticas do país, mostrando a forma de elaboração dos cálculos. É indicado o uso de cores claras, de baixa absorvância, em elementos de vedações externas leves para a ZB8 (ABNT, 2005a). Mostra-se a seguir na Tabela 1 - Desempenho térmico mínimo para coberturas e vedações externas, os parâmetros de desempenho térmico mínimo para coberturas e vedações externas para a ZB8, onde a cidade de Natal está inserida.

Tabela 1 - Desempenho térmico mínimo para coberturas e vedações externas (Zona Bioclimática 8)

Elementos	Transmitância Térmica (U W/m ² .K)	Absortância	Capacidade Térmica
Paredes externas	U≤3,7	α≤0,6	Sem exigência
	U≤2,5	α>0,6	Sem exigência
Cobertura	U≤2,3.FV*	α≤0,4	-
	U≤1,5.FV*	α>0,4	

Fonte: Adaptado da NBR 15575 (ABNT, 2013a)

1.3 Uso eficiente da água

A água, um dos recursos básicos para a vida, é importante para o consumo, irrigação, manutenção dos ecossistemas e geração de energia, entre outros (TRIANA, 2005). Porém, o volume desse líquido na sua forma doce é limitado. De toda água do mundo, apenas aproximadamente 1% é doce e apropriada para o consumo (SANTOS, 2016), daí a importância de se pensar e projetar edificações que incorporem mecanismos ou estratégias promotores do uso racional da água, através da redução do consumo de água potável e do consumo de água geral do edifício, uma vez que seu tratamento e purificação representa um custo elevado nos aspectos financeiros e ambientais. Deve ser considerado também o reaproveitamento das águas servidas e das águas da chuva, o tratamento de 100% da água usada para outros empregos, a melhoria do tratamento do esgoto e a coleta adequada de lixo. (TRIANA, 2005).

A utilização de água da chuva tem várias vantagens. Por um lado é uma água limpa, um recurso gratuito e independente das companhias de água, e requer uma infraestrutura bastante simples para a coleta, armazenamento e distribuição. A água da chuva pode substituir o consumo de água potável da máquina de lavar louça, máquina de lavar roupa, limpeza da casa e irrigação em geral (BUTERA, ADHIKARI, ASTE, 2014). Para isso, recomenda-se o planejamento local para instalação de cisterna e demais componentes do sistema.

As águas servidas sem coliformes fecais são denominadas águas cinza, e as águas utilizadas nos vasos sanitários para a eliminação de urina e fezes assim como as águas residuais da pia da cozinha são conhecidas como águas negras. É empregada a reutilização de água dos chuveiros, banheiras, pias após um tratamento simples e mínimo em máquinas de lavar roupa, descargas de vasos sanitários e, em alguns casos, até mesmo para outras limpezas domésticas. (SILVA, 2012).

A água com elevada contaminação de coliformes fecais antes de ser devolvida à natureza deve ser adequadamente depurada, para evitar a contaminação dos aquíferos, nascentes, rios, etc. O alto teor de matéria orgânica na água faz com que esta seja um substrato alimentício de primeira ordem. É necessário que seja assegurada uma água com qualidade razoável antes de ser descarregada na natureza.

No ciclo da água nas habitações, desde o fornecimento adequado para o consumo humano até o seu retorno para a natureza, há um longo percurso no qual com o planejamento adequado são permitidas economias significativas de água potável.

A reciclagem da água em edificações ecológicas é realizada em ciclo e o sistema de tratamento de águas negras é constituído por dois filtros, um anaeróbico e outro biológico (TRIANA, 2005). O tratamento primário do material começa no filtro anaeróbio, em seguida o efluente é conduzido por gravidade para o filtro biológico, passando pelo tratamento secundário. O meio de infiltração é formado por perfurações na canalização em PVC. Por sua vez, a água que sai do filtro biológico é transportada para os canteiros de plantas que utiliza a matéria orgânica existente na água para se desenvolver. É nesta etapa que são removidos o fósforo e o nitrogênio. O sistema elimina praticamente 100% dos coliformes fecais.

As principais recomendações para o uso eficiente da água e estratégias de aplicação de reaproveitamento da água, que dependem das particularidades de cada habitação, são:

- Levantamento das estimativas de quantidade de água potável e não potável necessárias para o uso da edificação;
- Proporcionar sistema de separação de água potável e água cinza para reutilização;
- Limitar o uso da água potável para irrigação;
- Usar sistemas de irrigação de alta eficiência;

- Usar metais e louças de banheiros que utilizem menor quantidade de água do que os convencionais;
- Usar equipamentos domésticos como máquinas de lavar louça e roupas de baixo consumo e água;
- Tratamento de águas servidas no terreno

1.4 Tecnologias de geração de energia renovável

A energia renovável é um recurso limpo e inesgotável de caráter local, que está continuamente disponível, e deve ser explorados (SILVA, 2012). O uso de sistemas ativos pode ser necessário em dias mais quentes ou chuvosos, quando não é possível abrir as esquadrias para ventilação natural, para o condicionamento artificial de ar ou a ventilação mecânica.

O modelo de geração de energia através das usinas hidrelétricas, centralizadas e com grandes perdas na transmissão e distribuição da eletricidade, amplamente utilizado no Brasil, tem restrições na sua capacidade de expansão (LIMA, B. W. F., 2012). Logo, a geração local integrada às edificações é uma das soluções para atender parte da crescente demanda de energia.

Entre outras, algumas das tecnologias que aproveitam a energia renovável são: aquecimento solar de água e a produção de energia elétrica a partir de células fotovoltaicas.

O aquecimento solar de água, a forma mais difundida e importante de utilização a partir da conversão térmica, a radiação térmica e sua energia são utilizadas para elevar as temperaturas da água que é transportada pelo sistema.

Outra forma de aproveitamento da energia solar é a conversão fotovoltaica, que permite a geração de eletricidade diretamente a partir da luz solar (BUTERA,ADHIKARI ,ASTE, 2014). Uma limitação é a presença de nuvens e o alto percentual de radiação indireta em alguns meses que reduzem a eficiência do sistema.

Os sistemas fotovoltaicos, quando utilizados em edificações de baixo consumo de energia, são mais utilizados de forma integrada à sua envoltória (BUTERA,ADHIKARI ,ASTE, 2014). Atualmente o sistema ainda apresenta um alto custo de investimento quando comparado com outras fontes convencionais de energia, entretanto futuramente quando a tecnologia se tornar competitiva, ele será o principal ator do sistema de geração de energia em pequena escala.

Geralmente, as células têm formato quadrado, com uma área entre 100 e 150 cm². Devido à baixa tensão de uma célula solar individual (tipicamente cerca de 0,5 V), várias células são ligadas em série, formando um painel. O painel é montado dentro de um invólucro de proteção à prova de intempéries, formando, assim, um módulo ou painel fotovoltaico.

Os módulos comerciais estão disponíveis com áreas que variam de cerca de 0,5 m² a 2 m², e um peso de cerca de aproximadamente 15 kg/m². Eles podem ser instalados no plano horizontal ou em coberturas inclinadas.

Os módulos são ligados ao sistema, e seu componente mais importante é o inversor, um dispositivo capaz de converter a corrente contínua, a partir dos painéis, em corrente alternada.

A potência de um dispositivo fotovoltaico (célula, módulo ou sistema) é expressa em watts de pico (WP), que representa a potência nominal que a unidade é capaz de fornecer em condições de referência, correspondendo a sua saída elétrica com uma irradiação solar incidente igual a 1,000 W/m², com uma temperatura da célula de 25°C. Para se ter uma ideia, um módulo de cerca de 1,3 m², com células de silício cristalino é classificado entre 180 e 260 Wp (de acordo com a qualidade das células).

Dependendo do tipo de uso, os sistemas fotovoltaicos podem ser divididos em duas categorias: isolados ou conectados à rede. No primeiro caso, um sistema de armazenamento, isto é, uma bateria, deve ser instalada entre os painéis e o conversor. Este armazena a energia elétrica quando a produção excede o consumo e torna disponível quando o consumo excede a produção. Quando o sistema está ligado à rede, a porção que não é usado diretamente no local alimenta a rede. Durante os períodos de pouca ou nenhuma luz solar, a própria rede supre as necessidades dos usuários.

Quando integrados aos edifícios, os painéis fotovoltaicos além de gerar eletricidade, substituem os materiais tradicionais de acabamento e também podem favorecer a iluminação natural ou o sombreamento da envoltória. O uso dessa tecnologia deve ser integrado à arquitetura e pensado durante a fase de projeto

Entretanto, na maioria das vezes os sistemas fotovoltaicos são introduzidos ao projeto sem criar harmonia com o conjunto, podendo causar um impacto visual negativo, desvalorizando a arquitetura. Geralmente não existe uma integração, mas a

sobreposição de módulos fotovoltaicos nos telhados, por ser esta a disposição mais usual do sistema.

Por outro lado, se forem aplicados corretamente o resultado pode ser muito inovador. O uso dos painéis ou células integradas às fachadas ou coberturas resulta na valorização arquitetônica e reflexão de novos rumos à sustentabilidade.

De fato, a instalação dos módulos sobre a envoltória do edifício oferece uma variedade de vantagens, tais como a utilização da superfície já ocupada pelos edifícios, o aproveitamento das estruturas de suporte, a substituição de materiais e componentes tais como elementos de telhado tradicional, e a possibilidade de utilizar a energia produzida no local.

A fim de obter o melhor desempenho de um sistema fotovoltaico, quer integrado na envoltória do edifício, ou não, é necessário um estudo de sombreamento. Os módulos devem estar localizados de tal modo que a incidência da radiação solar seja a máxima possível, evitando o sombreamento produzido por árvores, pelos edifícios do entorno ou partes do próprio edifício.

A ventilação dos módulos é um pré-requisito importante para evitar desempenho inferior ao esperado (BUTERA,ADHIKARI ,ASTE, 2014). Pode ser feito a partir de aberturas entre a sua superfície inferior e o telhado ou outros componentes de construção sobre os quais eles estão montados. Quando os módulos estão montados sobre um telhado, deve ser tomado o cuidado para não só deixar um espaço ventilado, mas também criar um acesso para limpeza e manutenção do sistema, e aumentar o isolamento do telhado, para evitar um fluxo de calor significativo devido à temperatura relativamente elevada dos painéis em direção ao interior da edificação.

2 ESTUDOS DE CASO DE PROJETOS DE BAIXO IMPACTO AMBIENTAL

A partir de trabalhos experimentais e analíticos, este capítulo apresenta estudos de caso de habitações de baixo impacto ambiental, nos quais são discutidas algumas etapas dos procedimentos e ferramentas de auxílio na sua concepção. Considera-se que as decisões mais importantes no impacto de qualidade ambiental de uma edificação deveriam ser tomadas desde as primeiras fases da concepção, favorecendo a funcionalidade, melhorando a qualidade ambiental da edificação e reduzindo custos adicionais. (GAUDIN, 2010; QUEIROZ, 2012).

2.1 Casa Eficiente

A Casa Eficiente é uma habitação modelo idealizada para funcionar como centro de demonstrações em eficiência energética (ELETROSUL, 2005). Foi inaugurada em 2012 na cidade de Florianópolis/SC, como resultado de uma parceria entre a Universidade Federal de Santa Catarina, a ELETROSUL e a ELETROBRAS.

Com o funcionamento através do revezamento quinzenal entre as atividades de pesquisa (experimentos controlados) e a visitação pública, o espaço proporciona uma sensibilização pública. O objetivo é demonstrar como as soluções de projeto podem favorecer o uso eficiente da energia elétrica e da água nas edificações residenciais, reduzindo desperdícios e impactos sobre o meio ambiente.

O projeto arquitetônico da Casa Eficiente foi desenvolvido pelas arquitetas Alexandra Maciel e Suely Andrade com colaboração de pesquisadores do LabEEE-UFSC. Foi concebido seguindo princípios como aproveitamento da ventilação e da luz natural, energia solar térmica e luminosa, uso racional da água pelo aproveitamento de água das chuvas e reuso de água, uso racional de energia elétrica e o baixo impacto ambiental. No estudo preliminar foram determinadas soluções de projeto relativas às características climáticas tais como: escolha dos materiais construtivos, orientação das fachadas, disposição das aberturas para ventilação, desenho de protetores solares para sombreamento e definição de estratégias híbridas de condicionamento.

A ventilação e luz natural foram adotadas como alternativas ao uso da refrigeração e iluminação artificiais. Foram empregadas a energia solar térmica para aquecimento de água e da energia solar luminosa para a geração de eletricidade através de um painel fotovoltaico interligado à rede. Quanto ao uso eficiente da água, a Casa Eficiente utiliza água da chuva para fins não potáveis (máquina de lavar

roupas, vaso sanitário, tanque e torneira externa). Além disso, possui um sistema de reúso de águas, no qual os efluentes recebem tratamento biológico por zona de raízes, as águas negras tratadas são encaminhadas para a rede coletora e as águas cinzas tratadas são armazenadas para uso na irrigação do jardim da Casa. Relativo ao uso racional de energia elétrica, o projeto visou alcançar a máxima eficiência energética, através de iluminação artificial eficiente, integrada ao uso de luz natural, a escolha de equipamentos e eletrodomésticos com eficiência energética atestada pelo selo PROCEL, e a inserção de fontes alternativas de energia, como a energia solar.

Uma das características do projeto das instalações prediais da Casa Eficiente foram a flexibilidade de operação, de manutenção e de seu funcionamento como um laboratório de pesquisa. Foi considerada ainda a necessidade de proporcionar, de maneira didática, a visita para divulgação dos conceitos adotados.

Na etapa de projeto, os sistemas que aproveitam a energia solar foram dimensionados e estimados pela pesquisa. Após a execução da Casa Eficiente foram realizados estudos a partir dos equipamentos e sistemas instalados, utilizando dados reais medidos na edificação. A geração fotovoltaica de energia instalada na Casa Eficiente se mostrou suficiente para suprir todo o seu consumo durante o período diurno em dias com céu sem nuvens e sol aparente, e ainda fornecer energia para a rede elétrica.

Tendo em vista o real uso da Casa Eficiente, de pesquisa e visita, distinto ao relativo à ocupação por moradores, foram estabelecidos padrões de uso estimados aplicados à uma simulação da sua ocupação. Tais estimativas destacaram a importância da escolha de equipamentos eficientes e da adoção de hábitos de consumo conscientes por parte dos usuários.

Uma das etapas da pesquisa incluiu o monitoramento termo-energético através de um amplo sistema instalado na habitação e além de uma estação meteorológica. Os experimentos destinaram-se a verificar o desempenho termo-energético da edificação e a eficácia das estratégias de uso racional da água incorporadas ao projeto.

O sistema de monitoramento foi composto por sensores instalados nos ambientes internos, posicionados junto às paredes, coberturas e piso, para medir fluxo de calor, e por sensores portáteis para registro de temperatura e umidade no centro dos ambientes. Foram efetuadas medições de velocidade do ar, com auxílio de anemômetros portáteis, e registros termográficos, em que as temperaturas

superficiais são identificadas a partir de cores graduadas em uma escala. Os dados diários registrados nos ambientes internos e externos foram de: temperatura, umidade e fluxos de calor.

As rotinas de uso da Casa Eficiente, caracterizadas pelo perfil do usuário através da manipulação das esquadrias, foram estabelecidas a fim de verificar o impacto de cada padrão de uso no comportamento térmico dos ambientes.

A avaliação do consumo de água ocorreu por equipamentos de medição individualizados categorizado por tipo de água: potável, de chuva, de reuso e quente. As instalações prediais hidráulicas foram feitas, preferencialmente, aparentes, identificadas por cores distintas, possibilitando melhor visibilidade, facilidade de manutenção, modificações e compreensão das estratégias adotadas.

Algumas pesquisas realizadas aplicaram o programa EnergyPlus como ferramenta de simulação computacional visando análises detalhadas de desempenho termo-energético. O modelo computacional foi utilizado para permitir e facilitar algumas análises de desempenho térmico dos componentes construtivos, de eficiência energética, do uso da ventilação natural e do uso do aquecimento solar passivo.

A integração das simulações se deu em distintas fases de projeto, tanto nas etapas iniciais quanto após a sua construção. Na etapa de projeto, foram avaliados dez modelos utilizando a mesma característica geométrica (planta e volumetria) com variações de parâmetros construtivos e de uso e ocupação. Este tipo de simulação permite a verificação da influência de cada estratégia, tais como cobertura com isolamento térmico, parede dupla e com isolamento, proteção solar nas aberturas, vidros duplos, equipamentos eficientes e ventilação natural. Como consequência desse aprimoramento de desempenho ambiental através de modelos computacionais, a solução final adotada no projeto diminuiu o consumo energético e melhorou as condições de conforto térmico para os usuários.

As simulações realizadas na fase posterior à construção, possibilitou o teste, calibração e a validação do modelo computacional, verificando a semelhança de seu comportamento térmico com o constatado em medições in loco na Casa Eficiente. Com essa calibração, após alguns ajustes, foi definido um modelo que representa com bastante proximidade os valores medidos na Casa. Apesar de algumas diferenças, o modelo final foi considerado adequado para as simulações de análises de desempenho térmico.

Nesta etapa da simulação foram configurados os modelos com diferentes opções de ventilação para o período de verão, demonstrando que esta estratégia pode ser uma grande aliada para o conforto térmico dos usuários do ambiente quando bem utilizada. As simulações mostraram que o conforto térmico no período de verão é favorecido pela integração entre ventilação diurna e noturna, sendo ela controlada pelo valor da temperatura do ar no interior e no exterior da edificação.

Na etapa seguinte, a partir dos resultados do monitoramento e dos estudos realizados, foi elaborada uma coletânea de livros abordando os temas: Bioclimatologia e Desempenho Térmico (vol.1), Consumo e Geração de Energia (vol.2), Uso Racional da Água (vol.3) e Simulação Computacional do Desempenho Termo-Energético (vol.4).

Tendo em vista o balanço energético da Casa Eficiente, proporcionado pela instalação de equipamentos eficientes e agregado a hábitos conscientes por parte dos usuários, ela poderia ser considerada como Zero Energy Building (ZEB). Isso significa que a quantidade de energia gerada no local, através de uma fonte renovável de energia, é igual ou superior à quantidade que seria consumida na edificação.

A conclusão da pesquisa é de que a Casa Eficiente representa um referencial para a elaboração do projeto arquitetônico de residências localizadas em Florianópolis e outras cidades com clima semelhante. Esta iniciativa contribui para a disseminação dos benefícios da adequação climática, da aplicação de processos projetuais integrados e de tecnologias, de forma significativa numa abrangência nacional.

2.2 Solar Decathlon

O Solar Decathlon é uma competição internacional que se iniciou nos Estados Unidos, com apoio do Departamento de Energia americano, e ocorre bianualmente desde 2005. A primeira edição europeia aconteceu em Madri no ano de 2010, após um acordo bilateral entre os governos da Espanha e dos Estados Unidos. Um acordo semelhante levou recentemente ao Solar Decathlon China, a partir de 2013. As três competições baseiam-se em objetivos comuns, mas são organizadas de forma independente e possuem características únicas em regulação e testes, adaptando-se às suas próprias circunstâncias e contexto.

O objetivo principal da competição, que abrange universidades e faculdades de todo o mundo, é fomentar a pesquisa e desenvolvimento de habitações sustentáveis, por meio do suprimento energético exclusivo através da energia solar e a aplicação

da eficiência energética. As equipes desenvolvem projetos e constroem habitações cujas áreas variam de 60 a 100m².

Neste item serão analisados os procedimentos projetuais de quatro exemplares de habitação sustentável participantes do Solar Decathlon Europa, China e EUA.

2.2.1 Ekó House (Espanha 2012)

A Ekó House é a edificação que representou o Brasil na competição Solar Decathlon realizada na Espanha no ano de 2012 (Kos, Souza, 2014). A equipe brasileira que projetou a casa, intitulada *Team Brasil*, foi coordenada pela Universidade Federal de Santa Catarina e a Universidade de São Paulo¹.

O projeto arquitetônico foi realizado adaptando técnicas tradicionais e características culturais da casa brasileira aplicadas de forma contemporânea, eficiente e com recursos de alto desempenho tecnológico. A Ekó House tem por premissa otimizar o aproveitamento do sol, recurso renovável, tanto na geração da energia necessária para sua operação como também para prover condições de conforto aos moradores através de um adequado aproveitamento de luz natural e de estratégias para o conforto térmico. Foi concebida visando a aplicação de princípios de isolamento térmico e acústico, iluminação natural e economia de energia elétrica, assim como soluções projetuais como emprego de espaços flexíveis e o uso de varandas como espaço de transição. A integração de soluções como o sistema fotovoltaico para geração de energia e o sistema de automação residencial visa assegurar a operação do protótipo mais forma mais eficaz possível. Além disso, há uma preocupação em um consumo eficiente dos recursos naturais e com a destinação adequada dos resíduos gerados pela operação do protótipo e pelas atividades dos usuários.

Como sistema passivo para resfriamento, foi adotado um sistema evaporativo, combinando ventilação mecânica e pulverização de água. Para o aquecimento passivo, foram instalados radiadores que utilizam a água aquecida pelos coletores solares, auxiliando no aquecimento interno nos períodos frios com baixo consumo energético, assim como o aquecimento solar passivo sem qualquer consumo de energia.

¹ O projeto foi desenvolvido com apoio da Unicamp, UFRJ, UFRN e IFSC

Quanto ao consumo de energia elétrica necessário à operação da casa, foi priorizado o uso de eletrodomésticos e equipamentos de alta eficiência energética disponíveis no mercado nacional, e de LED no sistema de iluminação artificial.

O uso de simulação computacional se deu quanto ao aproveitamento de iluminação natural, condicionamento térmico, consumo energético médio mensal e balanço energético anual. autonomia de luz do dia para atingir níveis adequados de iluminação durante maior parte do ano (cerca de 60%);

No processo de projeto foram adotados a prototipagem virtual, a produção digital de componentes padronizados, a pré-fabricação de elementos e sua montagem, no lugar de uma abordagem convencional em resposta de uma prática projetual e técnicas construtivas tradicionais largamente utilizadas no país. Com isso, foi possível o maior controle do uso de materiais, de forma mais racional e com menor desperdício e menor geração de resíduos.

Os dados para o protótipo são acadêmicos, oriundos de simulações computacionais para estimar valores de geração e consumo de energia dessa habitação ao longo de um ano de operação. Com relação ao condicionamento térmico do protótipo, os dados de simulação estão programados para que a casa se mantenha na faixa de 23 a 25 °C durante todo o ano, o que atende às regras do evento, mas em uma situação cotidiana essa tolerância poderia ser mais flexível, reduzindo o consumo energético do ar condicionado.

Durante o concurso, as temperaturas internas se mantiveram a maior parte do tempo entre 22 e 25 °C, inclusive no período em que não estava permitido o uso de sistemas ativos de condicionamento. Entretanto, foram registradas temperaturas internas próximas a 30°C nos horários em que a casa estava aberta à visitação pública, pela grande concentração de pessoas e, conseqüentemente, carga térmica. Os métodos passivos de condicionamento se mostraram efetivos no período em que a casa foi avaliada, evidenciando uma baixa necessidade de condicionamento artificial, de forma que garantiu o conforto térmico dos usuários a um baixo consumo anual de energia para este fim. (ANTONIO et al., 2013)

A automatização da casa e sistemas de informação baseados na previsão do tempo envolve de forma distinta e inovadora os moradores. Por exemplo, o sistema de informação pode informar os melhores horários para realizar atividades domésticas diversas, de acordo com as condições climáticas futuras.

A Ekó House foi concebida visando o conceito de Residência Energia Zero (REZ) definido como uma edificação que produz, por meio de fontes locais, a energia que consome, considerando um balanço anual. O balanço energético simulado, conforme ANTONIO (2013), demonstra que a energia gerada pelos painéis fotovoltaicos é suficiente para suprir a demanda de consumo ao longo do ano, indicando o alcance da meta de balanço energético zero.

Considerando um mesmo padrão de conforto, ao comparar o consumo médio mensal simulado para a Ekó House (735kWh/mês) com os dados de consumo médio mensal de residências de países desenvolvidos – como Estados Unidos (958kWh/mês – EIA, 2011) e Espanha (876kWh/mês – IDAE, 2011) – a habitação em estudo mostra-se mais eficiente no consumo energético.

2.2.2 O-house (China 2013)

O projeto da O-house promove uma integração entre as estratégias sustentáveis para a concepção e construção de uma habitação de energia zero aplicadas ao contexto da China. Conforme Zhang et al (2014), a O-house abrange estratégias e etapas específicas do processo projetual integrado, incluindo a composição arquitetônica e escolha de materiais, a combinação de tecnologias de construção e as energias renováveis, a integração do edifício e seus sistemas estruturais e de instalações, e o projeto de ambientação integrado.

As etapas aplicadas a este estudo, que visa a habitações de energia zero, foram estruturadas a partir dos seguintes conceitos:

Figura 3 - Ciclos naturais – habitação bioclimática



Fonte: Adaptado de Zhang et al (2014)

Com reatamento destes conceitos nas estratégias aplicadas à inovação técnica proposta, o estudo de caso considera: projeto arquitetônico aplicando estratégias passivas e ativas; uso de tecnologia a partir de energia renovável; otimização do sistema energético; habitação eficiente energeticamente e inteligente; materiais e construções; reciclagem de água; etc.

A partir da integração dos conceitos e aplicações estabelecidas, a etapa seguinte propõe a adaptação ao contexto urbano, visando o atendimento dos

parâmetros da tipologia residencial. O processo projetual integrado e o projeto modulado resultaram em quatro diretrizes: seleção de mercado alvo, integração de tecnologias da energia renovável, estratégias projetuais passivas e ativas como meta para a economia de energia e a integração tecnológica aplicada ao projeto modulado.

Dentre as estratégias passivas destinadas à economia de energia, foi utilizado o zoneamento em planta baixa a partir do fluxo de entrada e saída de energia. O projeto da O-House centralizou os espaços que demandam maior nível de conforto ambiental, envolta por três camadas externas de ambientes com critérios de conforto menos exigentes como: circulação, banheiro e cozinha. O nível de conforto ambiental interno é otimizado conforme é reduzido o consumo energético a partir da aplicação das estratégias projetuais passivas.

Com relação ao sombreamento, caracterizado como uma importante estratégia para reduzir as cargas de resfriamento e aquecimento dos ambientes internos, foram avaliadas duas situações: com e sem sombreamento.

Quanto aos materiais e métodos de construção, foram estabelecidos alguns padrões com auxílio da simulação, resultando num projeto energeticamente eficiente.

As vantagens apontadas por Zhang et al (2014) com relação a este projeto experimental foram:

1. Habitação autossuficiente em energia solar, pelo uso de estratégias passivas de sustentabilidade e energias renováveis, e pelo fluxo de entrada e saída energética bem controlada.
2. Projeto modulado de habitação em resposta à demanda do mercado Chinês. A modulação pode ajudar a reduzir o tempo de execução, com um aumento inversamente proporcionado da precisão nas dimensões dos sistemas construtivos e ambientes.
3. Projeto projetual integrado e tecnologia sustentável alcançado através de um entendimento geral da edificação.
- O projeto é mais que a conformação dos ambientes e espaços, ou a forma da edificação. Também considera a reconfiguração de mobiliário e dos espaços, a integração com outros espaços da edificação, área técnica para a produção de energia solar, automação, reciclagem de águas cinzas, reuso de água das chuvas, e sistemas de resfriamento, entre outros.
4. Controle de custos.

- As habitações de energia zero deverão ser mais aceitas pelo mercado quando houver maior controle do consumo energético. A O-House propõe a fragmentação do conceito de habitação, por meio da modulação e flexibilização. A pré-fabricação proporciona a produção em massa de habitações com redução de mão-de-obra e custos.

O resultado deste artigo exemplifica o uso de concepção integrada de habitação sustentável, assim como indica suas vantagens e limitações futuras.

2.2.3 GRow (Estados Unidos 2014)

O projeto da casa GRow (Bohm, 2018) proposto pela Universidade de Buffalo, consistiu numa habitação com energia zero, visou a participação no Solar Decathlon 2014 em Irvine, Califórnia. Foram empregadas ferramentas de análise ambiental e energética no processo projetual da habitação de forma integrada, inovadora e de alto desempenho.

Nos procedimentos metodológicos, foram realizadas simulações energéticas, cálculos automatizados em planilhas, simulações de iluminação natural, e dimensionamento visando a tomada de decisão no projeto. Os projetistas estabeleceram quatro princípios de sustentabilidade para orientar os critérios projetuais, descrito a seguir:

1. Reconhecimento da hierarquia energética.

Primeiramente considerar a redução de carga energética da habitação, em seguida selecionar equipamentos eficientes energeticamente, e finalmente, produzir energia elétrica suficiente para suprir ou superar a demanda da edificação e fornecer à rede.

2. Viver com a natureza

Enfatizar as qualidades ambientais exteriores por meio da integração com a vegetação, luz natural, renovação do ar, materiais, cores, e contato visual.

3. Pensar em funcionalidades flexíveis

Projetar considerando um longo ciclo de vida da edificação, com um pequeno ajuste do programa de necessidades.

4. Estimular a interação ativa do morador

Capacitar e estimular o usuário da edificação para interagir com os recursos naturais, através do seu envolvimento direto com o gerenciamento e uso da energia e dos materiais.

Estas diretrizes respaldaram os valores empregados e permitiram o entendimento do projeto visando as pessoas que o utilizarão, e não apenas um conjunto de tecnologias integradas. Para isso, nas estratégias de redução de consumo de energia era fundamental que a solução adotada mantivesse um contato visual com o exterior envolvendo o ocupante diretamente. Os princípios priorizaram o bem-estar e a satisfação do usuário e reconheceram que o estilo de vida sugerido pela edificação era parte integrante e determinante no seu alto desempenho.

As definições e critérios relativos à energia durante o processo projetual da casa GRoW foram: impacto das emissões no efeito estufa, transmitância térmica da envoltória, análises da perda e ganho de calor, área de abertura para ventilação natural, área para iluminação natural, seleção do sistema de condicionamento de ar, sistema de energia elétrica, dimensionamento e seleção do sistema de geração fotovoltaica, sistema de aquecimento solar da água e acessibilidade.

Quanto à análise das emissões e da transmitância térmica das envoltórias, as primeiras simulações do projeto da edificação foram realizadas na fase de estudo preliminar, utilizando um modelo tridimensional básico testados com alguns parâmetros e tipos de envoltória. Foi utilizado o programa *Revit Energy Analysis* juntamente com o DOE 2.2.

Foram pesquisados e escolhidos equipamentos eletrodomésticos, elétricos e mecânicos altamente eficientes, levando em conta também aspectos estéticos, custos, e outros critérios de desempenho e disponibilidade no mercado.

Quanto à seleção e dimensionamento do sistema fotovoltaico, foi estabelecido um fator de segurança de 25% acima do balanço energético calculado. Foram realizadas simulações iterativas com a ferramenta de designer de sites *SolarEdge* com vários tipos e números de painéis. No que se refere o sistema de aquecimento solar de água, foi utilizado um sistema solar de tubo com vácuo, recebido como doação pela equipe. O sistema supriu satisfatoriamente a demanda de água quente.

Bohm et al (2018) avaliou o custo dos materiais e sistemas de construção ao longo do processo de projeto e construção. Com isso, gerou estimativas de custo inicial na fase de estudo preliminar, desenvolvimento de projeto geral e documentos de construção do projeto.

O uso extensivo de estratégias passivas para reduzir as cargas da envoltória resultou num sistema de condicionamento de ar otimizado, com baixo consumo de energia elétrica.

O projeto arquitetônico da casa GRoW sugere um estilo de vida diferente do proporcionado por uma casa convencional. A inclusão de elementos operáveis na fachada como ventiladores e protetores solares para o sombreamento exige que o usuário se envolva diretamente com o gerenciamento de energia da casa.

Como resultado do estudo, constatou-se que muitas das estratégias usadas para desenvolver o protótipo da GRoW, visando o alto desempenho, envolveram cálculos e análises realizadas ao longo do processo projetual. Este processo de desenvolvimento iterativo e de teste para um desempenho ideal pode ser replicável em todo projeto arquitetônico e construção residencial.

2.2.4 EnergyPLUS Home 4.0 (China 2017)

O time TJU-TUD, representante da Universidade de Tongji e Technische Universität Darmstadt, participante do Solar Decathlon China 2017, desenvolveu uma proposta denominada EnergyPLUS Home 4.0. Visando o equilíbrio energético demandado pela competição, Lyu, Pan, Qu (2017) e sua equipe empregaram a geração solar fotovoltaica, o sistema de aquecimento solar e várias tecnologias de eficiência energética.

As estratégias projetuais consideradas no projeto foram a orientação da edificação, a implantação de zonas de amortecimento térmico (transitória) e a modulação estrutural. O método utilizado foi de simulação termo-energética para que a habitação atendesse aos requisitos de “construção passiva”. A modelagem do edifício foi realizada no programa DesignBuilder, baseado no EnergyPlus. A configuração do arquivo climático adotado na simulação do modelo apresentou os dados horários da TMY (ano meteorológico típico).

Uma variedade de soluções e materiais para a envoltória foi avaliada, dentre eles: isolamento, placa de poliestireno extrudido (XPS), espuma de ureia formaldeído (UFF), lã de vidro. Diante do impacto ambiental consequente do processo de produção do XPS e UFF, com a geração de subprodutos de espuma plástica, optou-se pelo uso de lã de vidro entre os painéis de OSB (Oriented Strand Board) como estrutura principal. A escolha do material utilizado na envoltória ocorreu em cooperação entre a equipe de arquitetos e engenheiros.

Outros parâmetros como caixilho da janela, carga de iluminação, carga de equipamento, padrão de ocupação foram estabelecidos pela equipe.

Na etapa de resultados e discussão, foram analisados os impactos das zonas de amortecimento térmico, a solução de condicionamento artificial de ar e o coletor de energia solar para aquecimento de água.

Para demonstrar a capacidade de melhoria do conforto térmico das zonas transitórias em reduzir a carga de aquecimento e resfriamento foram simuladas duas situações: com e sem as zonas externas de amortecimento. Nos resultados mostrou-se que essas zonas podem atender parte da necessidade de aquecimento, principalmente quando esta está orientada à sul, e no verão, com as janelas abertas, reduz a carga de resfriamento do condicionamento artificial de ar e contribui no sombreamento.

Com base no dimensionamento da carga térmica, foi proposto um sistema de bomba de calor. A solução atende à necessidade da edificação, entretanto em dias de extremo frio foi implementado um sistema de aquecimento elétrico auxiliar.

O aproveitamento de energia solar considerado consiste em geração de energia elétrica por painéis fotovoltaicos e aquecimento de água por coletores solares. Visando a melhor eficiência no uso da energia solar, foram modelados os painéis fotovoltaicos nas superfícies da envoltória. Dos resultados foram estabelecidas as áreas mais apropriadas para a instalação e geração eficiente de energia elétrica. Para as demais áreas das fachadas, com baixa eficiência de geração de energia fotovoltaica, os coletores solares foram instalados a fim de suplementar a produção de água quente. Os resultados indicaram a geração de energia elétrica suficiente para suprir todo o consumo da edificação, em condições ideais. Assim como demonstra o fornecimento de água quente suficiente para os moradores. Ambos os sistemas foram dimensionados com grande margem para evitar garantir o atendimento do quesito, considerando incertezas climáticas dos dias de competição.

A pesquisa analítica de desempenho ambiental desenvolvido no estudo demonstrou a aplicação de tecnologia em eficiência energética passiva na edificação e a validação do seu efeito por métodos baseados em modelos e simulações computacionais. De acordo com as exigências do Solar Decathlon, os resultados mostram que algumas tecnologias passivas são eficazes e viáveis para o projeto em questão. Com base na modelagem, o projeto arquitetônico foi aprimorado e aperfeiçoado.

A conclusão é que o consumo total de eletricidade da edificação pode ser satisfeito pelo sistema de geração solar fotovoltaica, assim como a demanda de água

quente pode ser satisfeita pelo sistema solar térmico. O projeto arquitetônico e de instalações proposto pode atender completamente aos requisitos do edifício passivo, estabelecidos pelo Solar Decathlon. Portanto, a pesquisa sobre o projeto integrado de construção e configuração do sistema de energia proposta é um caso prático para a aplicação da tecnologia de eficiência energética.

2.3 Casa 'Block 180' (Noruega)

O artigo da casa “Block 180” (Risholta et al, 2013) tem objetivo de analisar a sustentabilidade no retrofit da edificação, a partir do estabelecido pela Diretiva da União Europeia 2010/31. (PARLAMENTO, 2010).

O estudo de caso tratou do retrofit de uma habitação construída na década de 1980 visando o consumo quase zero de energia. Foi demonstrada uma análise de sustentabilidade multicritério a fim de indicar a melhor estratégia de renovação aplicada a diferentes perfis de usuários. Os indicadores de sustentabilidade foram: demanda de energia, custo do ciclo de vida e a qualidade ambiental.

Na caracterização do estudo foram considerados dois cenários: retrofit da fachada (janelas, isolamento das paredes externas, e melhoria na estanqueidade) e geração de energia renovável local; e retrofit de toda a envoltória e geração de energia renovável local otimizada. A avaliação da sustentabilidade foi realizada como um processo iterativo, incluindo parâmetros qualitativos e quantitativos.

Os procedimentos metodológicos adotados foram: avaliação do desempenho, indicadores econômicos, indicadores sociais, indicadores de uso e análise da sustentabilidade.

Na avaliação do desempenho foram incluídos fatores ambientais e técnicos como: economia de energia e emissões de CO₂, risco devido à exposição à umidade e ao clima, risco de falha e manutenção e durabilidade. O consumo anual de energia para o aquecimento da habitação e a demanda de energia fornecida foram escolhidos como indicadores ambientais devido à exigência estabelecida pela Diretiva Europeia (2012/31). Os demais indicadores do desempenho foram realizados usando técnicas tradicionais de construção em madeira. A estanqueidade quanto à umidade e risco de falha dependem da habilidade dos profissionais que executam as obras.

Com relação à avaliação econômica, foram analisados o custo do ciclo de vida, os financiamentos e incentivos disponíveis e a economia de energia. O retrofit da fachada oferece custos mais baixos do ciclo de vida comparado ao retrofit de toda a

envoltória. O retorno para o investimento inicial do primeiro cenário é de 12 anos, se constituindo numa opção mais atraente aos usuários que consideram apenas o impacto econômico.

Quanto à avaliação do uso, os critérios adotados foram de funcionalidade e flexibilidade dos espaços interiores e exteriores, assim como oportunidades de fazer melhorias.

Os indicadores sociais consideram o melhor conforto térmico e qualidade do ar interno, melhorias estéticas, envolvimento do proprietário no planejamento e projeto, e retrofit em etapas ou completa.

A última etapa é da avaliação de sustentabilidade, e mostra que o perfil do usuário é um ponto decisivo para a estratégia de retrofit levando em conta a energia, economia e qualidade ambiental.

O resultado desse estudo mostra que o sucesso do mercado para o retrofit de habitações depende das prioridades dos proprietários/usuários. Os indicadores quantitativos de desempenho ambiental e econômico, além dos indicadores qualitativos de aspectos sociais e usabilidade são necessários ao avaliar o retrofit de habitações permitindo que os proprietários façam escolhas sustentáveis. Foi proposto um método iterativo para análise de sustentabilidade, incluindo o desempenho energético e técnico após o retrofit, o custo do ciclo de vida e as preferências dos proprietários, e estabeleceu que a escolha ideal da estratégia de retrofit depende do perfil do proprietário.

O estudo mostrou que existem fatores humanos que irão influenciar a escolha da estratégia de retrofit em habitações. O ponto de equilíbrio sustentável entre a demanda reduzida de energia e a produção de energia renovável no local é melhor avaliado em uma análise multicriterial que inclui métodos e dados tanto qualitativos como quantitativos.

2.4 Reflexões dos estudos de caso

Com vistas ao melhor desempenho ambiental dos edifícios, é importante ressaltar que as experiências dos casos apresentados neste item revelam o impacto significativo da identificação de critérios e variáveis de desempenho apropriados nas etapas preliminares para o resultado arquitetônico final e o impacto ambiental real do edifício.

Todos os estudos confirmaram e demonstraram a importância e grande utilidade da simulação computacional nas análises termo-energéticas de edificações. De tal forma que a avaliação de projetos por meio desses programas se tornou uma etapa obrigatória no processo de projeto de edifícios com objetivos e metas energéticas ou ambientais. Os estudos apresentados enfatizaram o papel da simulação termo-energética de testar, validar, aprimorar e mesmo ilustrar estratégias de projeto para um menor impacto ambiental.

Apesar dos estudos com simulação computacional adicionarem complexidade ao processo de projeto, em essência, a avaliação de desempenho ambiental com o auxílio desses programas oferece a possibilidade de simplificação e aprimoramento dos projetos de arquitetura e de instalações, para um melhor desempenho ambiental.

A experiência da Casa Eficiente estabeleceu um marco prático e de sensibilização dos visitantes, de forma direta, no contexto nacional, quanto à integração climática adequada, processo projetual integrado e na aplicação de tecnologias. Seguindo esta linha de demonstração prática em edificações visando alto desempenho ambiental, a participação do Brasil na competição Solar Decathlon em 2012 foi marcada pela associação de técnicas tradicionais e características culturais da casa brasileira aplicadas de forma contemporânea e eficiente.

Zhang et al (2014) estabeleceu a partir do estudo da O-house uma lista de vantagens referentes a habitações de baixo impacto caracterizadas pelas: estratégias passivas, energias renováveis, modulação, flexibilização, processo projetual integrado, tecnologia sustentável, viabilidade econômica. Isso também pode ser ilustrado pelos estudos de caso da Casa Eficiente, GRoW e EnergyPLUS Home 4.0.

Algumas experiências mostraram que o perfil do usuário influencia não só o tipo e forma de uso da habitação, mas também nas prioridades e estratégias escolhidas.

Neste estudo será explorada a simulação na verificação do desempenho (térmico e luminoso) para efeitos de comparação com os parâmetros definidos referentes à cada critério, com rebatimento e influência direta no projeto arquitetônico. Com elas e com as demais análises qualitativas e quantitativas será possível estudar o comportamento térmico, luminoso e consumo energético da edificação, mesmo antes da sua construção.

3 PROCESSO PROJETUAL INTEGRADO

O processo projetual de habitações de baixo impacto ambiental pode ser bastante complexo, requerendo um elevado nível de conhecimento técnico desde o pré-projeto, a etapa inicial do projeto. As especificidades do projeto exigem mudanças fundamentais no processo projetual tradicional, através de uma prática mais integrada e colaborativa com vistas ao ciclo de vida da edificação. (KOVACIC ,MÜLLER, 2014).

Muitos modelos de processo projetual integrado são genéricos, enfatizando apenas a importância do método, sem utilidade na replicação de novos processos projetuais. O conhecimento ou as experiências sobre os processos colaborativos de edifícios energeticamente eficientes utilizando o projeto integrado são ainda insuficientes. (KOVACIC ,MÜLLER, 2014).

Esse item introduz os princípios do processo projetual integrado com base nos conceitos abordados por Larsson (2002), *International Energy Agency Task 23 - IEA Task 23* (LÖHNERT,DALKOWSKI ,SUTTER, 2003), Busby et al (BUSBY,PERKINS ,WILL, 2007) e *American Institute of Architects* (AIA, 2007). Na segunda parte serão mapeadas as etapas do processo projetual descrevendo as atividades chave, os produtos, e os principais participantes de cada fase.

3.1 Conceitos e princípios de processo projetual integrado

O processo projetual integrado, para Nils Larsson (2002), é um método para a concepção de edifícios com alto desempenho que contribuem para comunidades sustentáveis. É um processo colaborativo que se concentra no projeto, construção, operação e ocupação de um edifício ao longo de todo o seu ciclo de vida. O processo é idealizado para permitir que o cliente e os outros participantes-chave do processo desenvolvam e realizem metas e objetivos relacionados com aspectos funcionais, ambientais e econômicos claramente definidos.

Segundo a *IEA Task 23* (LÖHNERT,DALKOWSKI ,SUTTER, 2003), o processo projetual integrado é um processo que otimiza a construção e considera a edificação como um sistema completo incluindo seus equipamentos e o entorno, assim como todo o seu tempo de vida. Isto pode ser alcançado quando todos os participantes-chave do projeto cooperam em todas as questões e concordam com decisões de grande alcance em conjunto desde o início.

Similar aos conceitos de Larsson e da *IEA Task 23*, BUSBY,PERKINS ,WILL (2007) enfatiza que além dos objetivos de alto desempenho e aspectos ambientais e

sociais bem definidos, existe a limitação das restrições orçamentárias e do cronograma do projeto. De acordo com os autores, o processo projetual integrado se baseia numa equipe multidisciplinar e colaborativa cujos membros tomam decisões em conjunto com base na visão compartilhada e na compreensão holística do projeto, através das múltiplas interações.

No guia de projeto integrado proposto pela AIA (2007), o conceito de processo integrado é orientado principalmente pela eficiência, por meio do tempo e do custo, e a sustentabilidade é vista como uma questão dentro do tema da eficiência energética. É baseado nos princípios de: respeito mútuo e confiança no trabalho da equipe, benefícios e recompensas mútuas, inovação colaborativa e tomada de decisão, envolvimento inicial dos participantes-chave, definição inicial dos objetivos, planejamento intenso, comunicação aberta, tecnologia apropriada com troca aberta de informações, organização e liderança com atuação claramente definidas.

O mapeamento do processo projetual é uma ferramenta de análise teórica, que fornece uma visão geral dos participantes e atividades durante o tempo. O processo projetual integrado foi mapeado em vários estudos. A seguir, dois estudos são apresentados. O primeiro esquema foi descrito pela *IEA Task 23* (LÖHNERT,DALKOWSKI ,SUTTER, 2003), e enfatiza o próprio processo projetual, enquanto que o outro proposto por Busby et al (BUSBY,PERKINS ,WILL, 2007) inclui também as demais etapas de projeto como a fase de construção e pós-ocupação.

Os dois esquemas apresentam fases e categorias diferentes, mostrando que pode ser difícil enquadrar e identificar de forma generalizada o processo projetual integrado. Além de descrever as etapas de forma diferente, os estudos apresentam atribuições diferenciadas para cada participante no processo.

Enquanto esquemas do processo projetual integrado podem ser úteis para obter uma visão das atividades realizadas, fases e participantes envolvidos, os estudos sobre projeto processual integrado frequentemente fornecem apenas orientações amplas e gerais que podem ser aplicadas em diversas situações. Desta forma, evita-se a imposição de limitações ao processo. Por outro lado, as descrições generalizadas propostas podem inibir o processo em si, pela dificuldade de gerenciar as expectativas e condições de cada participante.

Segundo pesquisa sobre a implementação prática do processo projetual integrado realizada por Kovacic e Muller (2014), o envolvimento inicial das partes

interessadas é apontado como fator de sucesso, juntamente com a simultaneidade, a interdisciplinaridade, e a comunicação clara.

O processo projetual integrado inclui alguns elementos típicos (LARSSON, 2003) como:

- O trabalho interdisciplinar entre arquitetos, engenheiros, orçamentistas, equipe operacional e outros atores relevantes desde o início do processo de concepção;
- Discussão sobre a importância relativa de vários problemas de desempenho e o estabelecimento de um consenso sobre o mesmo entre o cliente e os projetistas;
- Restrições financeiras são aplicadas em todos os estágios da construção, e não há separação orçamentária para os sistemas individuais, tais como condicionamento de ar ou estrutura do edifício. Isso reflete o fato de que despesas adicionais como por exemplo para dispositivos de sombreamento, podem reduzir os custos de investimento e operacionais em outros sistemas como a refrigeração do ambiente;
- Contratação de especialista em energia, conforto ambiental ou sustentabilidade;
- As simulações termo energéticas ao longo do processo projetual fornece informações objetivas no aspecto fundamental do desempenho;
- Contratação de especialistas pontuais e de curta duração para as áreas como iluminação natural e conforto acústico, por exemplo;
- Articulação clara dos objetivos e estratégias de desempenho, a ser revisada e atualizada durante o processo pela equipe de projetistas;
- Em alguns casos, um projetista colaborador pode ser adicionado à equipe, para solucionar os problemas de desempenho ao longo do processo e agregar conhecimento especializado.

Na concepção projetual tradicional, o processo é linear e as decisões são tomadas sem contestação. O arquiteto e o cliente concordam com um conceito projetual, constituído pela distribuição dos ambientes em planta baixa, orientação, aberturas, e a aparência exterior da edificação, dentre outros. Em seguida, os engenheiros mecânicos, eletricitas e calculistas estruturais são convidados a implementar os projetos complementares e sugerir os sistemas mais apropriados. O problema com a prática convencional é que este processo de projeto é muito simples e rápido, muitas vezes resultando em altos custos operacionais e poucos aspectos sustentáveis que se encaixam no orçamento do cliente (PÉROLA, 2004 apud BUSBY, PERKINS, WILL, 2007). A seguir, o Quadro 1 demonstra a comparação entre os

processos projetuais convencional e o integrado, considerando seus principais aspectos:

Quadro 1 - Comparativo entre o processo projetual convencional e o processo integrado

	Processo convencional	Processo integrado
Equipe	Fragmentada; baseada no mínimo necessário; fortemente hierárquica; controlada	Integrada e composta pelas principais partes interessadas do projeto; montada no início do processo; aberta; e colaborativa
Processo	Linear e segregado; mínimo necessário de conhecimento adquirido; silos de conhecimento e experiência	Simultânea e multinível; contribuições iniciais de conhecimentos e competências; informações abertamente compartilhadas; confiança e respeito entre os participantes-chave
Riscos	controlado individualmente; transferido para a maior extensão possível	Gestão coletiva, apropriadamente compartilhada
Compensação / recompensa	Individualmente obtida; esforço mínimo para o máximo retorno	O sucesso da equipe está ligado ao sucesso do projeto
Comunicação/ tecnologia	Baseado em papel, bidimensional; analógico	Baseado no digital e virtual; tecnologia BIM
Acordos	Incentiva o esforço unilateral; aloca e transfere o risco; sem compartilhamento	Promove, estimula e apoia o compartilhamento aberto e multilateral; com riscos compartilhados

Fonte: AIA (2007)

Dentre os benefícios, o processo projetual integrado aumenta o valor agregado, reduz o desperdício e maximiza a eficiência em todas as fases: projeto, fabricação e construção (LÖHNERT,DALKOWSKI ,SUTTER, 2003). Estas vantagens são principalmente o resultado do deslocamento do pico de trabalho, onde mais é feito em estágios iniciais comparado com os processos tradicionais, reduzindo os custos de alterações de projeto e ampliando a capacidade de adaptação (KANTERS ,HORVAT, 2012). Este método permite a colaboração, ainda nos estágios iniciais, dos principais participantes-chave de projeto e, portanto, a otimização do desempenho na fase inicial de planejamento, que tem a maior influência sobre o desempenho final do edifício. (KOVACIC ,MÜLLER, 2014).

De forma geral, processo projetual integrado é um processo continuado, apresentado como um método flexível, diferente para cada aplicação, com

características continuadas de aprendizagem que surgem em curso do processo projetual.

3.2 Fases do processo projetual integrado

Este item descreve como o processo projetual integrado pode contribuir para cada fase no ciclo de vida de uma habitação, sendo consideradas as seguintes etapas: pré-projeto; estudo preliminar; anteprojeto; legalização da construção; construção e comissionamento; operação (início); e manutenção e pós-ocupação. (PETER et al, 2007).

A participação dos diferentes atores no processo projetual é descrito na maioria dos estudos, que de forma unânime concordam que todos os atores precisam estar envolvidos desde o início do processo. Na descrição proposta pela *IEA Task 23* (LÖHNERT,DALKOWSKI ,SUTTER, 2003), o arquiteto é o líder da equipe, os engenheiros mecânicos e eletricitas assumem papéis ativos nas etapas iniciais do processo e a equipe sempre inclui um especialista em energia.

A estruturação do processo de projeto é realizada de forma que todas as decisões são tomadas em acordo com todos os participantes-chave. A partir de um *workshop* inicial, podem-se acordar os objetivos comuns de maneira a construir uma equipe coesa e envolvida no processo de projeto. Esta é uma condição importante para os resultados no processo de projeto, mas, ao mesmo tempo, um fator que pode ser difícil de ser alcançado. (KANTERS ,HORVAT, 2012).

A participação do cliente também é importante no processo projetual integrado. Se o cliente optar por este tipo de processo de projeto, é preciso estar aberto para a abordagem e comunicação com todos os participantes-chave. Os desejos do cliente precisam ser claros desde o início do processo, assim como é necessário o feedback da equipe para o cliente. É especialmente importante entender como as alternativas de projeto são escolhidos com base no seu desempenho energético. Somente desta forma, o desempenho energético torna-se um fator de decisão clara. (KANTERS ,HORVAT, 2012).

Na fase inicial do processo, a equipe é escolhida considerando suas competências e capacidade de comunicação. É essencial que os participantes estejam comprometidos e interessados em acompanhar o processo, assim como dispostos a cruzar as zonas de conforto e fronteiras profissionais convencionais.

Neste ponto, a primeira análise do local, programa de necessidade e viabilidades são discutidos.

3.2.1 Pré-projeto

A fase de pré-projeto inclui a definição de visão, metas e objetivos para o projeto. O cliente formula os objetivos e a equipe de projeto deve traduzir essas demandas em requisitos programáticos, metas de desempenho e critérios de projeto. O local e o clima são explorados para encontrar o seu potencial.

Quanto à atividade-chave de coordenação da equipe, é preciso reunir profissionais diversificados e experientes, assim como escolher um facilitador. No planejamento das reuniões-chave, tem-se: preparação do *workshop* inicial, reunião de programação, reunião de gestão das instalações, reuniões com parceiros.

No Quadro 2, serão descritas as participações dos membros da equipe com relação às suas atividades nesta fase.

Quadro 2 - Participação dos membros da equipe na etapa de pré-projeto

Membro da equipe	Atividades
Cliente / proprietário	Contratar equipe motivada e experiente; informar a visão do projeto e as metas
Gerente de projeto	Trabalhar com o cliente para iniciar o projeto e coordenar a equipe
Arquiteto	Assegurar que os outros consultores participam dos estágios iniciais do projeto, especialmente na forma e programação da edificação
Gestor do processo projetual	Trabalhar com o gerente de projeto e arquiteto para organizar os workshops de definição dos objetivos iniciais
Engenheiro calculista estrutural	Considerar o impacto das escolhas estruturais na forma da edificação
Engenheiro mecânico com especialidade em análise energética e simulação	Fornecer feedback sobre o impacto da forma e orientação nos sistemas mecânicos e desempenho energético; Trabalhar com a equipe de projeto para encontrar estratégias bioclimáticas e características que auxiliem na operação da edificação; auxiliar a equipe a considerar novas opções.
Engenheiro eletricitista	Fornecer feedback sobre o impacto da forma e orientação nos sistemas elétricos e opções de iluminação natural e artificial.
Especialista em projeto sustentável	Agregar amplo conhecimento das estratégias bioclimáticas

Engenheiro civil especialista em instalação hidrossanitária e tratamento de água	Fornecer informações sobre as oportunidades específicas locais quanto a conservação, reuso e tratamento de água
Gerente de instalações ou manutenção	Trabalhar com a equipe de projeto para observar todos os requisitos e necessidades da edificação
Orçamentista	Auxiliar a equipe no estabelecimento de orçamento realista, tendo em vista as condições atuais do mercado
Arquiteto paisagista	Fornecer informações sobre as oportunidades locais relacionada à preservação e restauração do habitat local, plantas nativas, teto verde, etc.
Empreiteiro ou gerente de construção	Auxiliar a equipe a entender as questões construtivas associadas ao local e requerimentos específicos do programa.

Fonte: Adaptado de BUSBY, PERKINS, WILL (2007)

3.2.2 Estudo preliminar

Na fase de estudo preliminar o projeto começa a tomar forma, e as principais opções são analisadas, testadas e selecionadas. Alguns aspectos de projeto e processuais são definidos, permitindo que a equipe passe para uma etapa de maior detalhamento, dentre eles: estudo arquitetônico preliminar, forma, relações espaciais com o entorno, estratégias de iluminação natural, ventilação, seleção de materiais, seleção e pré-dimensionamento dos principais sistemas (estrutural, envoltória, refrigeração, etc.), custo estimado, análise de energia preliminar, matriz de funções/responsabilidades e cronograma. Todas essas definições iniciais são avaliadas em relação aos requisitos, metas de desempenho e objetivos pré-estabelecidos. Em alguns casos, são apoiadas pela aplicação de ferramentas de simulação.

Quanto à atividade-chave de coordenação da equipe, nesta etapa é preciso aumentar a coesão da equipe, assim como estimular uma mentalidade de apoio à criatividade. Além disso, é importante manter a visão e os objetivos do projeto atualizados, ter compreensão dos desafios e oportunidades do local e certificar-se que os requisitos de funcionalidade do programa e suas implicações são compreendidos em todas as esferas. No planejamento das reuniões-chave, tem-se: organização de *workshops* para debates ideias, desenvolver conceitos, avaliar estratégias e refinar opções; avaliação da viabilidade e impacto energético das tecnologias e estratégias; e relatório com as oportunidades.

Os membros da equipe e profissionais que podem estar presentes nesta fase do projeto são os mesmos da etapa anterior, entretanto com atividades referentes à etapa de estudo preliminar.

3.2.3 Anteprojeto

Durante a fase final do projeto, a edificação, seus materiais, o dimensionamento das instalações técnicas, bem como as estratégias de controle da radiação solar, iluminação natural, etc. foram definidas. Os desenhos detalhados, simulações e cálculos são avaliados no que diz respeito às exigências estabelecidas no início do projeto, incluindo estimativa de custo financeiro.

Os principais produtos desta etapa são: relatório de desenvolvimento projetuais incluindo questões do processo projetual integrado como resultados da simulação energética; relatório financeiro detalhado utilizando o custo do ciclo de vida da edificação, se possível; especificação do esboço com critérios de desempenho embutidos; relatório de comissionamento preliminar; matriz atualizada de funções/responsabilidades; e matriz de metas atualizada.

Quanto à atividade-chave de coordenação da equipe, nesta etapa é preciso envolver novos especialistas (como agentes de comissionamento ou peritos externos) de maneira pontual, quando necessário, e promover a colaboração entre os membros da equipe. Além disso, é importante avaliar a viabilidade de estratégias bioclimáticas e tecnologias, e utilizar ferramentas para simular tecnologias e estratégias, assim como avaliar o desempenho da construção. No planejamento das reuniões-chave, tem-se: reflexões na otimização projetual para maximizar sinergias entre as disciplinas de projeto e realização de reuniões pontuais focadas em questões específicas. Os demais membros e profissionais deverão atuar em atividades que confirmam os objetivos iniciais, permanecendo dentro do orçamento e cronograma, repassando informações necessárias para novos membros da equipe, entre outras relacionadas ao anteprojeto.

Após esta fase, o processo continua com as etapas de legalização da construção, execução e comissionamento, operação (inicial) e manutenção e pós-ocupação, que não serão explorados neste estudo. Neste estudo serão consideradas apenas as três primeiras fases do processo projetual integrado: pré-projeto, estudo preliminar e anteprojeto, conforme *IEA Task 23* (LÖHNERT, DALKOWSKI, SUTTER, 2003). O processo projetual integrado será analisado dentro do contexto de edificação

e projeto de baixo impacto ambiental, e as especificidades do processo serão adaptados a este contexto.

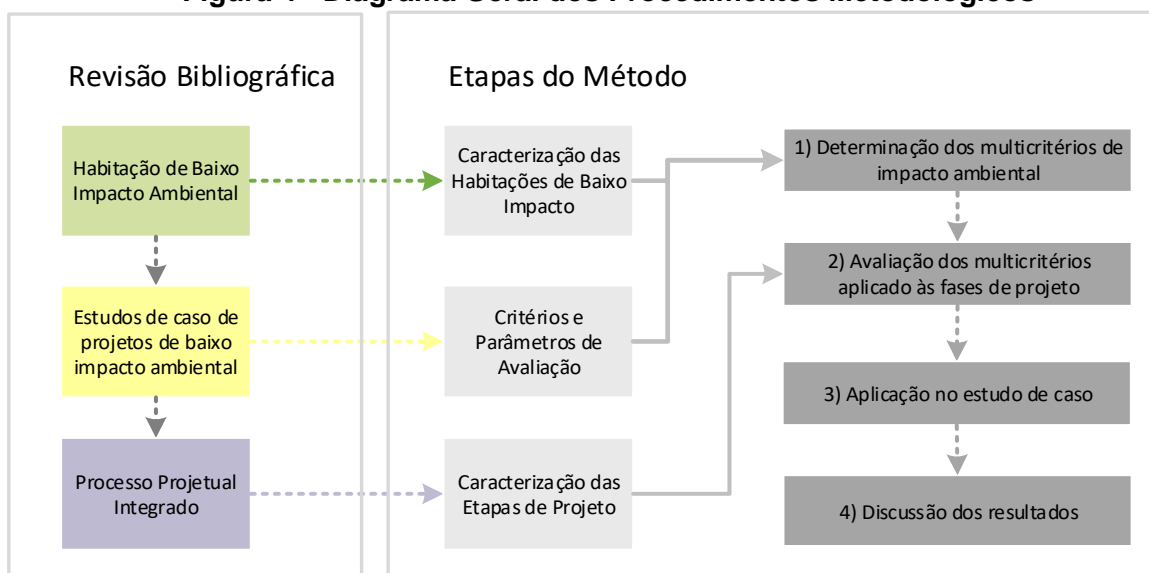
4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

No presente estudo foram adotados procedimentos metodológicos de pesquisa bibliográfica (normas, revistas, artigos científicos, dissertações e teses) e estudo de caso (uma habitação).

Iniciou-se a elaboração do método pela revisão bibliográfica focada em habitação de baixo impacto ambiental, estudos de caso de projetos de baixo impacto ambiental e processo projetual integrado. O referencial ofereceu subsídios para a estruturação da abordagem multicritério de estratégias de baixo impacto ambiental e a sistemática de integração com as fases projetuais. Em seguida, os multicritérios foram aplicados no estudo de caso. A partir disso, foram sistematizadas as soluções adotadas para uma habitação que visava o baixo impacto ambiental no clima quente e úmido numa ferramenta em formato de checklist apresentando os multicritérios e seus parâmetros.

Os procedimentos metodológicos consistem em avaliar os multicritérios de baixo impacto ambiental que respaldam as decisões durante as fases de projeto de uma habitação de baixo impacto ambiental, conforme diagrama da Figura 4.

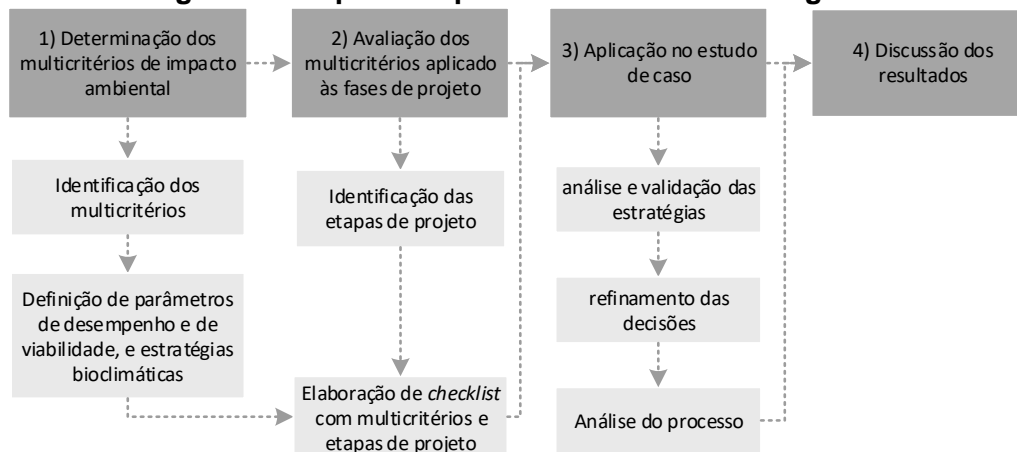
Figura 4 - Diagrama Geral dos Procedimentos Metodológicos



Para o atendimento dos objetivos propostos, a pesquisa foi estruturada em quatro etapas (Figura 5): 1) determinação dos multicritérios de impacto ambiental para avaliação em habitação no clima quente e úmido; 2) avaliação dos multicritérios

aplicados às fases de projeto (checklist); 3) aplicação no estudo de caso; e 4) discussão dos resultados.

Figura 5 - Etapas dos procedimentos metodológicos

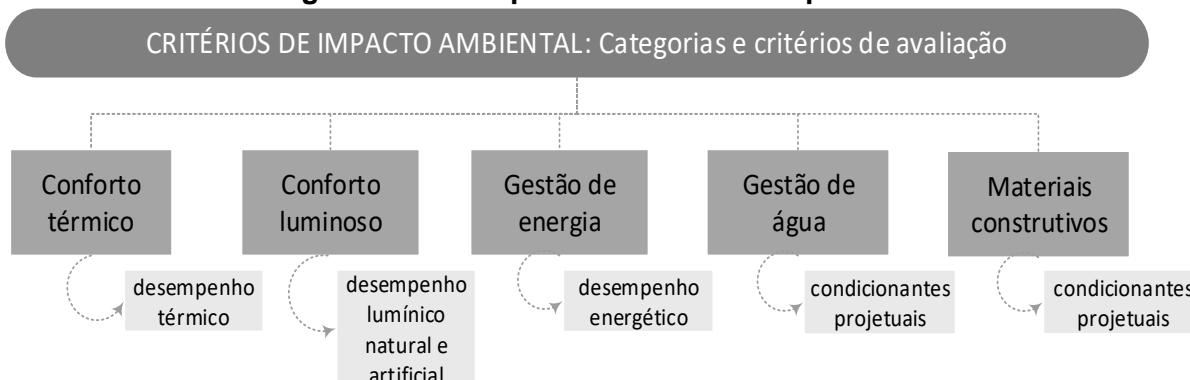


4.1 Determinação dos critérios de impacto ambiental e parâmetros

Os critérios de impacto ambiental foram definidos com base em normas, legislações, regulamentações, teses e demais publicações técnicas brasileiras. Estes documentos foram analisados para identificação dos critérios aplicáveis ao contexto brasileiro, procurando abranger aspectos técnicos e ambientais relacionados às etapas de projeto. Os multicritérios foram estruturados na forma de uma tabela para cada uma das seguintes categorias (Figura 6): 1) conforto térmico; 2) conforto luminoso; 3) gestão de energia; 4) gestão de água e 5) materiais construtivos.

A categoria “conforto térmico” possui um critério: desempenho térmico. A categoria “conforto luminoso” engloba o desempenho luminoso natural e artificial. A “gestão de energia” possui o critério de desempenho energético. As categorias “gestão de água” e “materiais construtivos” tem como critério os condicionantes projetuais.

Figura 6 - Hierarquia das decisões do problema



O processo de análise das categorias “conforto térmico”, “conforto luminoso”, “gestão de energia” e “gestão de água” estabeleceu-se de forma quantitativa. Em cada categoria buscou-se uma base comparativa de variáveis estabelecidas a partir da pesquisa. A categoria “materiais construtivos” foi analisada em caráter qualitativo, devido à ampla abrangência do tema e limitação do presente estudo. Os critérios foram aplicados no estudo de caso, descritos no item 5.3. A seguir serão descritos os parâmetros adotados nesta pesquisa para cada critério.

4.1.1 Conforto térmico

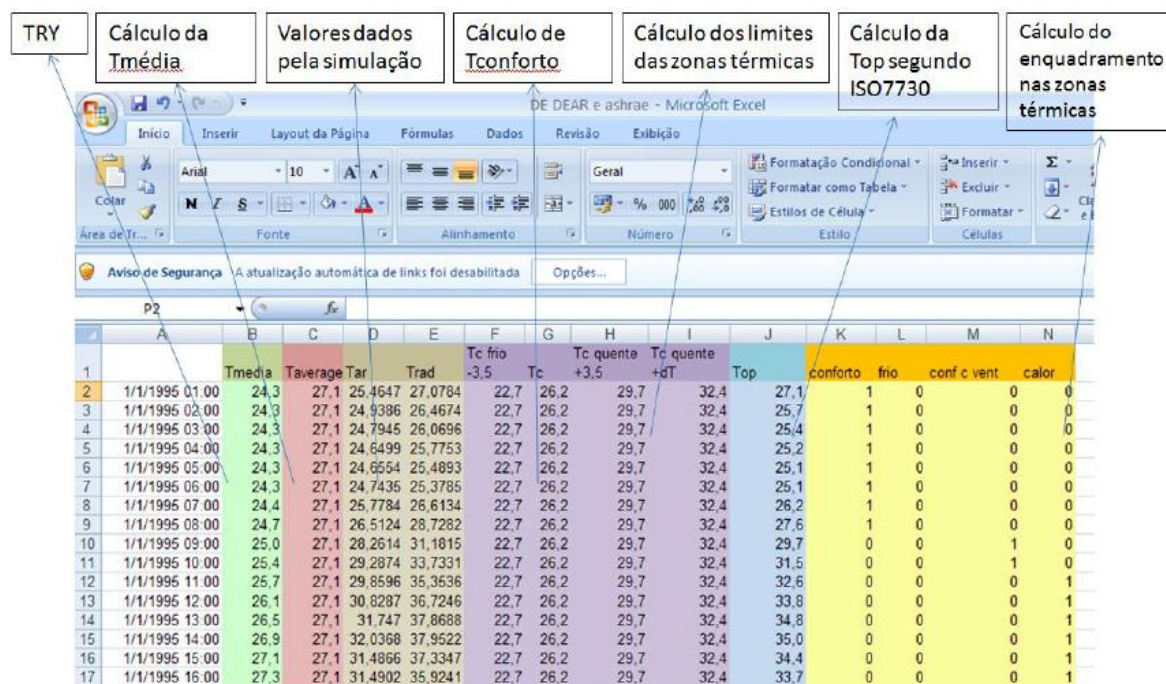
O conforto térmico possui como critério de avaliação o desempenho térmico, que por sua vez é formado por cinco subcritérios: transmitância térmica da envoltória, impacto da cor externa, sombreamento das aberturas, áreas envidraçadas e aberturas permeáveis atendendo às condições de conforto.

O cálculo da transmitância térmica foi realizado em planilha eletrônica no software Excel. Os diagnósticos do impacto da cor externa, áreas envidraçadas e aberturas permeáveis foram realizados através de simulação termo energética para a análise paramétrica dos fatores relacionados aos ganhos de calor por radiação solar e a remoção do calor por meio da ventilação natural. As simulações foram realizadas no programa *DesignBuilder 3.4.0.041* (DESIGNBUILDER SOFTWARE, 2006) com o arquivo climático de Natal de 2009 (RORIZ, 2014). O desenvolvimento do modelo foi constituído pelas etapas de modelagem da geometria, configuração da orientação, zona térmica, área envidraçada, proteção solar, configuração das aberturas, materiais de parede e cobertura, rotinas de uso, ocupação, ventilação, densidade de potência instalada de equipamento e iluminação, com a adoção dos parâmetros estabelecidos pelo método de simulação computacional no Regulamento Técnico da Qualidade para o nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais - RTQ-R. A frequência de número de horas em conforto térmico é analisada por meio do método adaptativo (SPAGNOLO, DE DEAR, 2003) integrado à ventilação natural (NEGREIROS, 2010)², e atualizado com as proposições para a norma de conforto térmico brasileira (LAMBERTS *et al.*, 2013). Este parâmetro é calculado em planilha eletrônica Excel (Figura 7), a partir dos dados de temperatura do ar e a temperatura radiante média, e

² Para a determinação das condições de conforto considerou-se um incremento de $\pm 3,5^{\circ}\text{C}$ para a definição dos limites superior e inferior da zona de conforto – equivalente a 80% dos usuários em conforto – e uma velocidade do ar de 1,2 m/s, que estabelece o limite superior da zona de conforto com movimentação de ar em $2,2^{\circ}\text{C}$ acima do limite da zona de conforto.

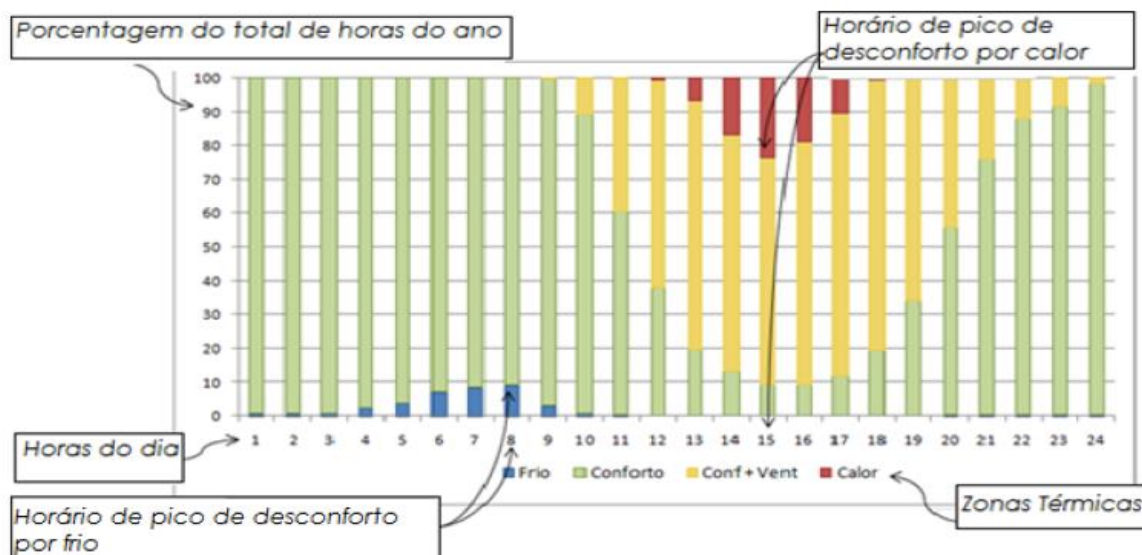
considera velocidade do ar interna³ de 1,2 m/s (obtida naturalmente ou por ventilador de teto). São quantificadas as ocorrências de desconforto ao frio, conforto, conforto obtido por movimento de ar, e desconforto ao calor a cada hora do ano (Figura 8).

Figura 7 - Descrição e exemplo da planilha excel demonstrando os cálculos



Fonte: NEGREIROS (2010).

Figura 8 - Exemplo de gráfico para avaliação de desempenho térmico



Fonte: NEGREIROS (2010).

³ De acordo com Lamberts et al (2013), se a temperatura operativa é maior que 25°C, então permite-se um incremento de até 2,2°C para velocidade de 1,2m/s.

Quanto ao sombreamento das aberturas, foram realizadas análises da obstrução solar das aberturas visando verificar a eficácia do sombreamento existente. A avaliação foi realizada por meio dos resultados da máscara de sombra fornecidos por simulação computacional no *Software Autodesk Ecotect 5.6* (AUTODESK, 2014), levando em conta as dimensões apresentadas no projeto arquitetônico, geometria do entorno, localização geográfica (latitude, longitude, *Time zone*) e azimute das aberturas.

A seguir serão apresentados (Quadro 3) os subcritérios e os parâmetros para analisá-los.

Quadro 3 - Subcritérios do desempenho térmico

Subcritério	Descrição	Parâmetro
Transmitância da envoltória	Uso de sistemas construtivos e materiais nas paredes e cobertura com transmitância (W/m^2K) dentro do limite estabelecido	Paredes com transmitância térmica de $U \leq 3,7 W/m^2K$ (ABNT, 2005a), se $\alpha \leq 0,6$ ou de $U \leq 2,5 W/m^2K$, se $\alpha > 0,6$ Cobertura com transmitância térmica de $U \leq 1,0 W/m^2K$ para ambientes condicionados artificialmente, e $\leq 2,00 W/m^2K$, para ambientes não condicionados (ABNT, 2005a).
Impacto da cor externa	Uso de revestimentos externos nas paredes e cobertura com absorptância térmica do exterior dentro do limite estabelecido.	Os revestimentos externos de paredes e cobertura devem possuir absorptância solar baixa, com máximo de 0,50 do espectro solar, na média da edificação (ABNT, 2005a).
Aberturas permeáveis	Áreas mínimas de aberturas para ventilação efetiva; Localização de aberturas em diferentes fachadas para cruzamento da ventilação (pressão); elevação do piso para aumentar a exposição e as trocas térmicas; Renovação de ar para avaliar o impacto das aberturas na ventilação natural.	Área mínima para ventilação natural é de 10% da área de piso em área efetiva de ventilação natural. Para a ventilação natural cruzada é necessário atender a mínimo de 25% entre a área da esquadria oposta com relação à principal. (BRASIL, 2012)
Áreas envidraçadas	Orientação, percentual (%) de abertura da fachada e fator de céu visível para analisar o impacto das áreas envidraçadas na temperatura radiante média	Percentuais iguais ou superiores a 80% das horas do ano em conforto ou conforto com movimentação de ar.
Sombreamento das aberturas	Percentual (%) de obstrução solar das aberturas para evitar a incidência da radiação solar direta nas aberturas.	Percentuais iguais ou superiores a 80% das horas do ano em conforto ou conforto com movimentação de ar.

4.1.2 Conforto luminoso

O desempenho lumínico foi avaliado em duas classificações: natural e artificial. O desempenho natural (Quadro 4) possui quatro subcritérios de avaliação: área de iluminação, nível mínimo de iluminância, disponibilidade de luz natural e uniformidade da luz natural. O desempenho lumínico artificial (Quarto 5) possui três subcritérios de avaliação: nível mínimo de iluminância, densidade de potência instalada e eficiência energética da fonte de iluminação artificial.

O cálculo da área de iluminação natural (aberturas envidraçadas) foi realizado em planilha eletrônica no software Excel. Os diagnósticos de nível mínimo de iluminância, disponibilidade de luz natural e uniformidade da luz natural foram realizados por simulação no programa *DaySim* (REINHART, 2006) com o arquivo climático de Natal de 2009 (RORIZ, 2014). O programa realiza simulação dinâmica com alta velocidade de processamento compatível para o tratamento e análise do desempenho luminoso. A etapa de modelagem tridimensional foi realizada no programa *Sketchup* versão 8.0.3117/2010 (GOOGLE, 2010) e as propriedades dos materiais conforme as texturas foram inseridas da biblioteca “*Daysim for Sketchup*”. A definição da malha de sensores foi realizada conforme a NBR 15215-4 (ABNT, 2005B), que resultou na necessidade de 16 pontos, distribuídos numa malha de 4x4.

Os dados obtidos na simulação foram tratados através de planilha eletrônica e apresentados em uma ficha de resultado individual (APÊNDICE A – DESEMPENHO TÉRMICO). Foram elaboradas três fichas individuais, com os resultados de desempenho para os limites de 100, 300 e 500lux, de forma que possibilitou identificar o potencial de luz natural para exigências lumínicas maiores do que o nível mínimo para residências (60lux). Os resultados foram analisados por meio de atendimento ou não dos parâmetros de desempenho luminoso estabelecidos para cada subcritério.

A seguir as descrições dos subcritérios de iluminação natural serão apresentadas e juntamente com seus parâmetros de análise.

Quadro 4 - Subcritérios do desempenho luminoso natural

Subcritério	Descrição	Parâmetro
Área de iluminação	Atendimento da área mínima de abertura para iluminação natural do interior dos ambientes	Área mínima para iluminação natural é de 12,5% da área de piso em área efetiva de iluminação (BRASIL, 2012)
Nível mínimo de iluminância	Atendimento anual (%) da iluminância mínima	Foi adotado o nível mínimo de iluminância de 60 lux em 50% dos ambientes, durante 70% das

		horas com luz natural no ano (DA de 70%)
Disponibilidade de luz natural	Distribuição em planta baixa do atendimento anual (%) da iluminância mínima	Disponibilidade de luz natural (DA \geq 80% em 80% da área do ambiente) (DIAS, 2016).
Uniformidade da luz natural	Ocorrência anual (%) de proporção \leq 1:10 das iluminâncias. Distribuição em planta baixa do atendimento anual (%) da uniformidade.	Uniformidade da luz natural (relação máxima de 1:10 entre iluminância mínima e máxima) (DIAS, 2016).

A análise de iluminação artificial foi realizada a partir do levantamento dos equipamentos de iluminação indicados no memorial descritivo do projeto e no relatório de inspeção da eficiência energética do edifício. O tratamento dos dados obtidos se deu no formato de tabela, por meio do qual foram analisados os resultados conforme os critérios de desempenho estabelecidos.

A seguir serão apresentadas as descrições e parâmetros para analisar os subcritérios de desempenho de iluminação artificial:

Quadro 5 - Subcritérios do desempenho luminoso artificial

Subcritério	Descrição	Parâmetro
Nível mínimo de iluminância	Atendimento anual (%) da iluminância mínima	Foi adotado o nível mínimo de iluminância requerido (300lux) (ABNT, 2005b)
Densidade de potência instalada	Razão entre potência de iluminação instalada e a área do ambiente	Potência máxima de 5W/m ² para dormitórios e 6W/m ² para sala.
Eficiência energética da fonte de iluminação artificial	Característica referente a relação entre o fluxo luminoso e a potência consumida	Todas as fontes de iluminação artificial devem possuir eficiência superior a 75 lm/W ou com Selo Procel em todos os ambientes (BRASIL, 2012)

4.1.3 Gestão de energia

Os subcritérios mais relevantes para o desempenho energético referem-se ao planejamento, dimensionamento e a implementação do sistema de geração e aproveitamento de energia. Os subcritérios adotados são aqueles voltados aos condicionantes projetuais (perfil de consumo, disponibilidade de área para painéis fotovoltaicos, coletores solares, céu visível e área técnica) e à eficiência do sistema (tipo de painel fotovoltaico e coletor solar, e disponibilidade no mercado).

Os condicionantes projetuais possuem cinco subcritérios de avaliação: perfil de consumo energético da edificação, disponibilidade de área para painéis fotovoltaicos e de área para coletores solares, disponibilidade de céu visível e área técnica de apoio aos sistemas. Quanto à eficiência do sistema, existem três subcritérios de avaliação: tipo de painel fotovoltaico, tipo de coletor solar e disponibilidade no mercado. A seguir serão apresentados (Quadro 6) os subcritérios e os parâmetros para analisá-los.

Quadro 6 - Subcritérios da gestão de energia: condicionantes projetuais e eficiência do sistema

Subcritério	Descrição	Parâmetro
Perfil de consumo energético da edificação – equipamentos eficientes	Consumo anual total de eletricidade reduzido devido a uso de equipamentos eletroeletrônicos eficientes	Pelo menos 80% dos equipamentos comprados ou instalados na residência devem atender o nível A da etiqueta Procel (GBCBRASIL, 2014).
Disponibilidade de área para painéis fotovoltaicos	Verificação em planta de cobertura de área destinada a painéis solares	Disponibilidade de 100% de área para suprir no mínimo 8% da eletricidade do edifício por fontes renováveis (GBCBRASIL, 2014).
Disponibilidade de área para coletores solares	Verificação em planta de cobertura de área destinada a coletores solares	Disponibilidade de 100% de área para suprir no mínimo 70% do aquecimento de água por fonte térmica solar (GBCBRASIL, 2014).
Disponibilidade de céu visível	Verificação em planta de cobertura a existência de sombreamento na área destinada a painéis/coletores solares	Disponibilidade de 100% da área sem obstrução
Área técnica	Verificação em planta baixa de área destinada a equipamentos complementares do sistema fotovoltaico e aquecimento solar de água	Disponibilidade de 100% de área necessária
Tipo de painel fotovoltaico	Análise das tecnologias existentes	Todos os equipamentos devem atender o nível A da etiqueta Procel
Tipo de coletor solar	Análise dos equipamentos existentes	Todos os equipamentos devem atender o nível A da etiqueta Procel
Disponibilidade no mercado	Pesquisa de fornecedores e eficiência dos equipamentos	Escolher equipamentos disponíveis no mercado local com etiqueta Procel

A análise dos condicionantes projetuais e eficiência do sistema de geração solar térmica e fotovoltaica foi realizada a partir da escolha dos equipamentos (coletor solar e painel fotovoltaicos), cálculos para o dimensionamento por meio de estimativa do desempenho no site *PVWatts Calculator* (2018) e em planilhas do Excel, e tratamento dos dados obtidos para atendimento dos critérios estabelecidos.

4.1.4 Gestão de água

O critério de gestão de água considera a redução e otimização do consumo de água potável, o reaproveitamento das águas servidas e das águas da chuva, do tratamento de toda a água residuária reutilizada e a melhoria do tratamento do esgoto.

A análise da gestão de água da edificação foi realizada a partir do levantamento de equipamentos economizadores e do estudo de captação e consumo de água elaborado de acordo com o perfil do cliente. O tratamento dos dados obtidos foi realizado no formato de planilhas, por meio das quais foram analisados os resultados conforme os parâmetros de desempenho estabelecidos.

Os parâmetros mais relevantes para o planejamento e a implementação da gestão de água são aqueles voltados aos condicionantes projetuais. Estes possuem quatro subcritérios de avaliação: perfil de consumo de água, gerenciamento de água de chuva, tratamento de água servida, área técnica de apoio, possibilidade de expansão. A seguir serão apresentadas (Quadro 7) as descrições e parâmetros para analisá-los.

Quadro 7 - Subcritérios da gestão de água: condicionantes projetuais

Subcritério	Descrição	Parâmetro
Perfil de consumo de água	Consumo anual total de água potável e não potável necessárias para o uso da edificação	Redução de 20% a 30% do uso normal de água calculada para um edifício (GBCBRASIL, 2014).
Gerenciamento de água de chuva	Previsão de reuso de água de chuva para usos não potáveis	Combinado com equipamentos economizadores, os sistemas de uso de água da chuva devem proporcionar uma economia mínima de 40% no consumo anual de água do edifício (BRASIL, 2012)
Tratamento de água servida	Proporcionar sistema de tratamento e separação de água potável e água cinza para reutilização	Tratar 100% da água usada no local para outros usos (GBCBRASIL, 2014).

Área técnica	Verificação em planta baixa de área destinada ao armazenamento e tratamento de água servida	Disponibilidade de 100% de área necessária para armazenamento e tratamento
---------------------	---	--

4.1.5 Materiais construtivos

A escolha de materiais é essencial à viabilização das construções de baixo impacto ambiental. Os parâmetros mais relevantes para o planejamento e a implementação dos sistemas construtivos e materiais são aqueles voltados aos condicionantes projetuais. Estes possuem quatro subcritérios de avaliação: escolha do sistema construtivo estrutural, racionalização e modulação, adaptabilidade e durabilidade da edificação e facilidade de acesso para manutenção. A seguir serão apresentadas (Quadro 8) suas descrições e parâmetros para analisá-los.

Quadro 8 - Subcritérios dos materiais construtivos: condicionantes projetuais

Subcritério	Descrição	Parâmetro
Escolha integrada dos sistemas construtivos	Uso de materiais regionais, provenientes de reuso, com conteúdo reciclado, de rápida renovação e recicláveis, visando reduzir a extração de recursos naturais não renováveis.	Utilizar 100% de madeira (temporária e definitiva) legalizada, com a apresentação do Documento de Origem Florestal (DOF) ou selos ambientais (GBCBRASIL, 2014); Atender algum dos itens a seguir: a) Materiais de reuso b) Materiais regionais c) Materiais e produtos com conteúdo reciclado pré e pós-consumo d) Materiais de rápida renovação e) Materiais recicláveis
Racionalização e modulação	Uso de sistemas construtivos estruturais e materiais que permitem a racionalização, modulação e sistemas desmontáveis compatível com o projeto arquitetônico para minimizar os resíduos gerados	Atender algum dos itens a seguir (GBCBRASIL, 2014): a) Modularidade/repetição da estrutura: dimensionamento em medidas facilmente reaproveitáveis em novos projetos. b) Modo de aplicação/fixação: estruturas parafusadas (e não soldadas). c) Estruturas pré-moldadas ou pré-fabricadas. d) Coberturas estruturais pré-fabricadas permanentemente instalados na residência.
Adaptabilidade e durabilidade da edificação	Uso de sistemas construtivos estruturais e materiais que permitem a flexibilização	Atender algum dos itens a seguir (GBCBRASIL, 2014):

	arquitetônica e a durabilidade da edificação para minimizar os resíduos gerados na construção pelos elementos não estruturais.	a) Vedações externas: utilizar divisórias reaproveitáveis e removíveis, blocos modulares etc. b) Revestimentos de paredes e pisos internos: possuir paginação compatível com as dimensões do local. c) Pavimentações e pisos externos: utilizar pavimentos intertravados e/ou removíveis. d) Divisórias internas: constituídas por elementos removíveis. e) Esquadrias: fixadas com parafusos (não chumbadas). f) Forros: utilizar forros removíveis.
Manutenção	Uso de materiais que permitem o fácil acesso às instalações para manutenções	Materiais de fácil manutenção

4.2 Avaliação das decisões nas fases projetuais

Com base na revisão do processo projetual integrado, as análises multicritérios foram empregadas em três fases do processo projetual: pré-projeto, estudo preliminar e anteprojeto.

O **pré-projeto** (PP) enumera os condicionantes locais, os anseios e metas do projeto pelo cliente. A análise do potencial de aproveitando dos condicionantes locais e climáticos refere-se à: definição de estratégias bioclimática; questões construtivas associadas ao local e características que auxiliem na operação da edificação; exploração de possibilidades na forma e orientação da edificação e avaliação prévia dos potenciais e do impacto nas decisões iniciais quanto os demais fatores como escolhas estruturais, desempenho energético, sistemas elétricos e opções de iluminação natural e artificial; conservação, reuso e tratamento de água e etc. As metas e objetivos estabelecidos pelo cliente devem ser amplamente conhecidos por toda a equipe.



A fase de **estudo preliminar** (EP) é caracterizada pela primeira avaliação das metas, a partir da solução arquitetônica proposta pelo arquiteto, a fim de atender o programa conciliando com a realidade do mercado local. Quanto ao desenvolvimento do projeto arquitetônico e dos complementares, esta etapa contempla formas, relações espaciais com o entorno, estratégias de iluminação natural, ventilação, seleção de materiais, seleção e pré-dimensionamento dos principais sistemas

(estrutural, envoltória, refrigeração, etc.), análise de energia preliminar, matriz de funções/responsabilidades e cronograma.

Na terceira fase, o **anteprojeto** (AP) apresenta quais foram as adaptações no processo projetual, através da reavaliação do atendimento das metas e objetivos do projeto. Durante esta etapa, a edificação, seus materiais, o dimensionamento das instalações técnicas, bem como as estratégias de controle da radiação solar, iluminação natural, etc. foram definidas. Os desenhos detalhados, simulações e cálculos são avaliados no que diz respeito às exigências estabelecidas no início do projeto.

No checklist (APÊNDICE B – CHECKLIST DOS MULTICRITÉRIOS), os subcritérios serão classificados em “EXISTENTE”, quando foi pensado naquela fase, “INEXISTENTE”, quando o subcritério não foi pensado naquela fase; ou “NULO”, quando não foi pensado no subcritério (Quadro 9).

Quadro 9 - Conceito e representação dos subcritérios

Conceito	Representação
Existente	
Inexistente	
Nulo	-

O checklist é uma junção dos parâmetros estabelecidos no item 5.1 e a forma de classificação do Quadro 9 - Conceito e representação dos subcritérios). Os dados utilizados foram obtidos dos projetistas no decorrer do processo. Dessa forma, foi possível compreender os entraves e as adaptações realizadas ao longo da atividade. Em seguida, partiu-se para análise da aplicação de cada critério.

Na aplicação do checklist (APÊNDICE B – CHECKLIST DOS MULTICRITÉRIOS) no estudo de caso, foram discutidas como cada critério e subcritério seriam abordados, e como seriam considerados os parâmetros estabelecidos na determinação destes. Será analisado o atendimento ou não atendimento dos parâmetros.

4.3 Estudo de caso

A habitação abordada no estudo é um projeto piloto no contexto das pesquisas realizadas pelo Labcon-UFRN, com reatamento no ensino e na extensão (SILVA *et*

dados e pela participação da autora no processo, através da concepção projetual, da coordenação de atividades e na realização das simulações.

O projeto é concebido a partir das estratégias bioclimáticas e recomendações de condicionamento passivo (OLGYAY, 1957; OLGAY, 1963; SZOKOLAY, 2004; ABNT, 2005a; 2008; PACHECO, 2016) para o local. O princípio para obter conforto térmico é evitar a entrada da radiação solar ou geração de carga térmica no interior que exija resfriamento (ativo). Além disso, gerar potencial de ventilação para mover o ar internamente e remover o calor interno por renovação, na tentativa de proporcionar condições internas similares ao do exterior, porém sem radiação térmica. Em síntese, as recomendações são sombrear e ventilar.

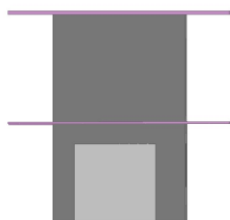
4.3.1 Desempenho térmico - simulação

O caso base foi modelado e simulado de acordo com o projeto arquitetônico, conforme as características descritas no Quadro 10, com rotinas de ocupação estipuladas pelo Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais - RTQ-R (BRASIL, 2012).

Quadro 10 - Características do caso base

Item	Descrição	Observação
Ambientes	Sala, cozinha, quarto e banheiro.	
Ocupação	Número de ocupantes	2 pessoas
	Densidade	Densidade – 0,01 pessoas/m ²
	Taxa metabólica	108W - sentado ou assistindo TV (BRASIL, 2012)
	Carga interna equipamentos	1,5W/m ² – rotina de uso: 24h (BRASIL, 2012)
	Carga interna iluminação natural	Densidade de Potência Instalada – 5W/m ² (BRASIL, 2012)
Sistemas construtivos	Fechamento vertical	Fechamento em painel modulado de madeira de 1,5cm de espessura, com transmitância térmica de 2,985 W/m ² .K (ABNT, 2005a) e absorvância de 0,3 (ROSA, 2014)
	Cobertura	Cobertura em telha branca termo acústica com transmitância térmica de 0,787 W/m ² .K (ABNT, 2005a) e absorvância de 0,1 (ROSA, 2014)

Piso		Piso elevado em madeira de 2,0cm de espessura com transmitância térmica de 1,95 W/m ² .K (ABNT, 2005a) e absorvância de 0,30 (ROSA, 2014)
Aberturas	Representação do modelo computacional - Fachada Norte	<p>Pav. Térreo com aberturas sombreadas e protetor solar horizontal de 1,20m de profundidade com baixa refletividade:</p> <p>(1) 1,478m² de veneziana (vent) – rotina de uso: sempre aberta;</p> <p>(2) esquadria em madeira e vidro simples 3mm com 3,796 m² e área efetiva de ventilação de 100%;</p> <p>(3) Abertura superior em bandeira de luz com 1,716 m², e área efetiva de ventilação de 50%;</p> <p>Pav. Superior com abertura sombreada o beiral de 1,20m de profundidade:</p> <p>(4) 1,478m² e 2,598m² de veneziana (vent) – rotina de uso: sempre aberta.</p>
	Representação do modelo computacional - Fachada Sul	<p>Pav. Térreo com aberturas sombreadas e protetor solar horizontal de 1,20m de profundidade com baixa refletividade:</p> <p>(1) 2,502m² de veneziana (vent) – rotina de uso: sempre aberta;</p> <p>(2) esquadria em madeira e vidro simples 3mm com 4,136 m² e área efetiva de ventilação de 100% – rotina de uso: 50% do tempo aberta;</p> <p>(3) Abertura superior em bandeira de luz com 1,632 m², e área efetiva de ventilação de 50%;</p> <p>Pav. Superior com abertura sombreada o beiral de 1,20m de profundidade:</p> <p>(4) 2,523m² de veneziana (vent) – rotina de uso: sempre aberta.</p>
	Representação do modelo computacional - Fachada Leste	Sem abertura
	Representação do modelo computacional - Fachada Oeste	Pav. Térreo com aberturas sombreadas e protetor solar horizontal de 2,40m de profundidade com baixa refletividade:



Esquadria de madeira e vidro simples 3mm com 4,611 m² e área efetiva de ventilação de 100% – rotina de uso: sempre aberta.

Desconsidera-se o sombreamento que pode ser obtido por meio do paisagismo no futuro, e a correção da velocidade e direção do vento porque a edificação não está na esteira de vento de outra edificação. Não houve necessidade de corrigir a temperatura do solo pois a edificação está elevada 80 cm do terreno. Para tanto, o modelo foi deslocado em 80cm acima do zero no eixo Z no programa de simulação.

Foram simuladas quatro alternativas para avaliação do desempenho térmico, descritas a seguir:

a. Impacto da cor externa

Os procedimentos de análise das alternativas se iniciam com a análise de impacto da cor externa. Trata-se de uma característica que influencia na absorção de radiação solar pelos fechamentos opacos. Foram analisadas absorptâncias de 0,3 denominada neste estudo de caso A1, absorptância de 0,5 caracterizada como caso A2 e absorptância de 0,7 referenciada como caso A3, sem e com aberturas (infiltração de 5 trocas por hora) para destacar o impacto da absorptância.

b. Aberturas permeáveis à ventilação

A questão das aberturas permeáveis à ventilação no projeto também estava em aberto no estudo preliminar e por isso foram realizadas simulações exploratórias prévias. Estas demonstraram que poucas variações de aberturas são suficientes para identificar seu impacto. As aberturas permeáveis ao vento são consideradas opacas, à exemplo das venezianas regionais conhecidas como tabicão (

Figura 11). As trocas de ar são calculadas a cada hora por meio do *EnergyPlus Airflow Network* (GU, 2007), que considera o período e a fração permeável da abertura, o *setpoint* de abertura, dimensões, coeficiente de descarga e coeficiente de pressão de acordo com o ângulo de incidência do vento.

Figura 11 - Exemplo de esquadria com Tabicão



Fonte: <http://www.madeireiramaraponga.com.br/janelas.html>

A quantidade de tabicões varia quanto à:

- Localização na fachada: inferior na fachada Sul e superior na fachada Norte (caso B1)
- Orientação: em todas as fachadas (caso B2)
- Quantidade: com todas as áreas de tabicão duplicadas (caso B3).

c. Áreas transparentes

Foram considerados os modelos sem carga interna e sem áreas transparentes para destacar o impacto da ventilação. O projeto também não apresenta uma definição estética quanto às áreas transparentes, desde que a esquadria proporcione luz natural suficiente e a interação com o exterior. Nas simulações foram considerados:

- Modelagem de esquadrias com área efetiva para ventilação e radiação solar direta: foi considerada a limitação do programa que, ao abrir uma porta ou

janela, não considera o ganho térmico de radiação térmica porque o programa considera a abertura opaca⁴ (mesmo aberta) à radiação e transparente somente à ventilação. Portas ou janelas que abrem devem ser transparentes para garantir que haverá ganho de radiação solar, sendo que é importante considerar uma rotina para prever sombreamento na abertura quando aberta, a exemplo da porta voltada para Oeste.

- Impacto das aberturas envidraçadas: quando as áreas envidraçadas abrem, há grande aumento da ventilação, fazendo com que as temperaturas internas e externas tendem a se igualar, sendo que o desconforto por calor é decorrente da temperatura radiante média.
- Adição de áreas transparentes:
 1. A partir de modelos sem áreas transparentes e com ventilação proporcionada por tabicões no Sul e no Norte com área de ventilação efetiva de 100% (caso B4) e com área de ventilação efetiva de 50% (caso B5);
 2. Colocação de três módulos transparentes (mantendo o guarda corpo opaco) para o Sul e três para o Norte somente no pavimento térreo, e dois totalmente abertos para o mezanino, sem acionamento do sombreamento (caso B6).

d. Sombreamento

O impacto do sombreamento é analisado como procedimento final para justificar a preservação dos protetores pensados durante o estudo preliminar, em condições de ventilação (caso C1) e sem ventilação natural (caso C2).

e. Critérios de análise

Os resultados são analisados quanto ao percentual de horas em conforto térmico no ambiente integrado sala/cozinha/quarto. Foi utilizado o método adaptativo (SPAGNOLO, DE DEAR, 2003) integrado à ventilação natural (NEGREIROS, 2010)⁵, e atualizado com as proposições para a norma de conforto térmico brasileira (LAMBERTS et al., 2013), que considera velocidade do ar interna⁶ de 1,2 m/s (obtida naturalmente ou por ventilador de teto). São quantificadas as ocorrências de desconforto ao frio, conforto, conforto obtido por movimento de ar, e desconforto ao calor a cada hora.

⁴ Testado no modelo.

⁵ Para a determinação das condições de conforto considerou-se um incremento de $\pm 3,5^{\circ}\text{C}$ para a definição dos limites superior e inferior da zona de conforto – equivalente a 80% dos usuários em conforto – e uma velocidade do ar de 1,2 m/s, que estabelece o limite superior da zona de conforto com movimentação de ar em $2,2^{\circ}\text{C}$ acima do limite da zona de conforto.

⁶ De acordo com Lamberts (2013), se a temperatura operativa é maior que 25°C , então permite-se um incremento de até $2,2^{\circ}\text{C}$ para velocidade de 1,2m/s.

Os resultados são apresentados em termos de ocorrência de conforto térmico pelo percentual de horas, conforto térmico com movimento de ar, desconforto ao frio e ao calor, comparados ao do clima externo ou à temperatura externa. Os dados do clima externo extraídos da estação climatológica, dentre eles a temperatura do ar e a umidade relativa do ar, são tratados da mesma forma que as informações obtidas das simulações. O clima de Natal é predominantemente confortável, sendo que o desconforto ao frio não é suficiente para incentivar estratégias de aquecimento passivo, e o desconforto ao calor pode ser resolvido com o movimento de ar.

Os resultados são analisados por meio de desempenho satisfatório e não satisfatório conforme o atendimento do critério. Neste estudo foi definido como critério de desempenho percentuais iguais ou superiores a 80% das horas do ano em conforto ou conforto com movimentação de ar.

Foram realizadas análises complementares que empregam gráficos horários gerados pelo *DesignBuilder* para análises combinadas específicas: renovação de ar para avaliar o impacto das aberturas na ventilação natural; temperatura de bulbo seco do ar para avaliar as mudanças de temperaturas mais influenciadas pela renovação de ar; temperatura radiante média para avaliar o impacto das aberturas transparentes e da absorvância térmica do exterior que impactam mais no aquecimento das superfícies.

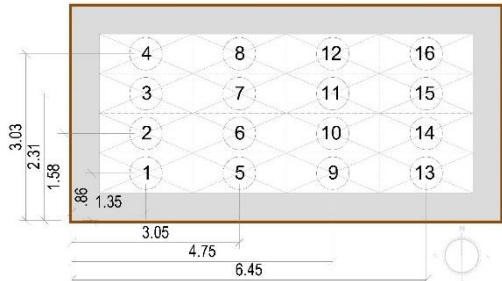
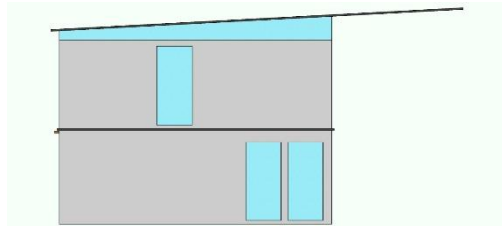
4.3.2 Desempenho luminoso - simulação

A análise do desempenho luminoso consiste na apreciação do projeto quanto ao atendimento dos parâmetros relativos aos subcritérios estabelecidos. O caso base foi modelado e simulado de acordo com o projeto arquitetônico, conforme as características descritas no Quadro 10, com rotinas de ocupação estipuladas pelo Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais - RTQ-R (BRASIL, 2012).

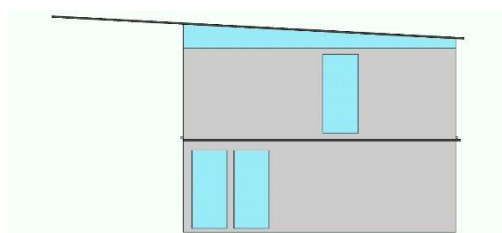
O projeto arquitetônico foi modelado e simulado de acordo com as características do Quadro 11, e conforme procedimentos metodológicos adotados por Dias (2016).

Quadro 11 - Características do caso base (simulação lumínica)

Item	Descrição
Ambientes	Sala, cozinha, quarto e banheiro.

Altura do plano de trabalho	0,75m	
Ocupação	Período de disponibilidade de luz natural	8:00 às 16:00 horas
Malha de sensores		4x4 – 16 pontos
Sistemas construtivos	Paredes	Pintura das paredes interiores do ambiente na cor de madeira, identificado por “GenInWall”, referência 005, refletância vermelho 50%, refletância verde 50%, refletância azul 50%, reflexão especular 0%, rugosidade 0%;
	Teto	Pintura do teto do ambiente na cor de madeira, identificado por “GenIntCeiling”, referência 005, refletância vermelho: 50%, refletância verde 50%, refletância azul 50%, reflexão especular 0%, rugosidade 0%;
	Piso	Revestimentos na cor de madeira, identificado por “GenInFloor”, referência 005, refletância vermelho 50%, refletância verde 50%, refletância azul 50%, reflexão especular 0%, rugosidade 0%;
Aberturas	<p>Vidro transparente simples, especificado por “genericSingleGlazing90”, referência 007, com transmissividade de 90%, refletância vermelho 90%, refletância verde 90%, refletância azul 90%, reflexão especular 0%, rugosidade 0%.</p>	
	<p>Representação do modelo computacional - Fachada Norte</p> 	<p>Pav. Térreo com aberturas sombreadas e protetor solar horizontal de 1,00m de profundidade:</p> <p>(1) 2 aberturas com 2,23x1,00m</p> <p>(2) abertura com 2,25x1,02m</p> <p>Pav. Superior com abertura sombreada pelo beiral:</p> <p>(3) bandeira de luz com 0,47x7,80m e protetor 1,00m</p>

Representação do modelo
computacional - Fachada Sul



Pav. Térreo com aberturas
sombreadas e protetor solar
horizontal de 1,00m de
profundidade:

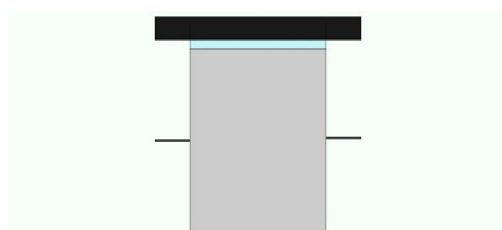
(1) 2 aberturas com 2,23x1,00m

(2) abertura com 2,25x1,02m

Pav. Superior com abertura
sombreada pelo beiral:

(3) bandeira de luz com
0,47x7,80m

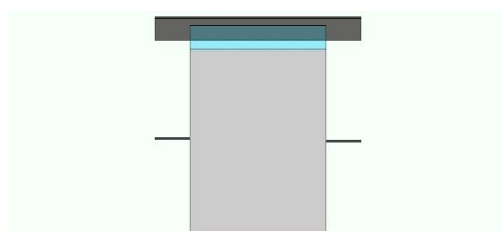
Representação do modelo
computacional - Fachada Leste



Pav. Superior com abertura do tipo
bandeira de luz sombreada por
beiral:

(1) 0,26x3,90m

Representação do modelo
computacional - Fachada Oeste



Pav. Superior com abertura do tipo
bandeira de luz sombreada por
beiral:

(1) 0,72x3,90m

A densidade de potência instalada e a eficiência energética do sistema de iluminação artificial são indicados na Tabela 2.

Tabela 2 – Potencial total da fonte de iluminação artificial por ambiente

Ambiente	Quant.	Tipo	Potência (W)	Eficiência energética (lm/W)	Potência total (W)
sala	2	Intral – Aledis Bulbo A-60 (A19)	9,5	85	19
cozinha	2	Intral – Aledis Bulbo A-60 (A19)	9,5	85	19
circulação	1	Intral – Aledis Bulbo A-60 (A19)	9,5	85	9,5
quarto	2	Intral – Aledis Bulbo A-60 (A19)	9,5	85	19

4.3.3 Gestão de energia – dimensionamento

O aquecimento de água, através da energia solar, para uso doméstico fornece água aquecida para os banheiros e cozinha. Com relação ao dimensionamento, pode-se considerar que o sistema é adequado para duas pessoas, na qual a demanda é principalmente para banho.

O sistema é composto por dois coletores solares planos de 1,03m² e um reservatório térmico horizontal de 200 litros, com aquecimento auxiliar interno feito por uma resistência elétrica de 1500W. As condições de instalação determinaram o funcionamento por circulação forçada, visto que as placas coletoras se situam acima do nível do reservatório térmico. As características do sistema são descritas a seguir na Tabela 3.

Tabela 3 - Dimensionamento do sistema de aquecimento solar de água

Demanda da água quente	Quantidade
Ocupação total da habitação	2
Consumo de água diário por pessoa	55l
Consumo total (l/dia)	110l
Condicionantes iniciais	Temperatura (°C)
Temperatura ambiente (NBR 15569, 2008)	26
Temperatura de uso de água quente	38
Temperatura de armazenamento	50
Temperatura de água fria	24
Volume de armazenamento	200l
Demanda energética	Quantidade
Radiação solar incidente no plano inclinado	5,4 (kWh/(m ² xdia))
Consumo anual de energia	652,04 kWh/anual
Especificação dos equipamentos	Quantidade
Coletor Solar plano, área útil por placa de 1,00 m², fator de eficiência óptica 0,779, coeficiente global de perdas de 6,795 W/(m².K), Ence A, Selo Procel.	2
Reservatório Térmico com revestimento de aço inox e isolamento de poliuretano, volume de 200 L, resistência elétrica de 2.500 W, Selo Procel.	1
Registro Misturador	1

O dimensionamento e memória de cálculo do sistema de aquecimento solar de água é detalhada no APÊNDICE C – SISTEMA AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA.

Para o sistema de geração de energia fotovoltaica foi selecionado um painel da marca Axitec disponível no mercado local e atestado pelo Inmetro através do Selo

Procel do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. No dimensionamento do sistema foram consideradas os dados informados na Tabela 4.

Tabela 4 - Sistema de geração de energia fotovoltaica

Descrição	Quant.
Uso	Residencial
Área de cobertura disponível	71,39m ²
Demanda energética mensal	250kWh
Painel Fotovoltaico	Axitec AC-270M/156-60S
Dimensões	1640 x 992 mm
Potência nominal do painel	270w
Nível de Eficiência Energética (Procel)	A - Selo PROCEL
Rendimento	85%
Irradiação local	5,45 kwh/m ² por dia

A memória de cálculo do sistema de geração local de energia da integrada à habitação em estudo é detalhada no APÊNDICE D – SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA.

4.3.4 Gestão da água - cálculos

Nos pontos de consumo de água do banheiro e cozinha foram utilizados equipamentos economizadores. Os dispositivos empregados foram: torneiras com arejador e hidromecânica, chuveiro com restritor de vazão e bacia sanitária com caixa acoplada e duplo acionamento.

A relação dos tipos e quantidades de equipamentos economizadores considerados no estudo de caso são indicados na Tabela 5.

Tabela 5 - Descrição de equipamentos economizadores de água

Ambiente	Quant.	Tipo	Descrição
banheiro	1	Bacia sanitária com caixa acoplada e duplo acionamento	Equivale a linha Vogue Plus, ref.: P505 cor GE17 – branco gelo – DECA
banheiro	1	Torneira de mesa fechamento automático, com dispositivo economizador para torneiras 6L/min.	Equivalente a torneira de mesa de pressão – linha Decamatic Link - DECA e restritor
banheiro	1	Chuveiro economizador 6L/minuto.	Equivalente a ref.: 1956 C CT – chuveiro de parede Balance 6 - DECA.
cozinha	1	Torneira de mesa com bica alta móvel com arejador para 6L/min	Equivalente a torneira ref: 1167 C – linha Link – DECA e arejador para

			6litros/minuto ref: 4224.000 – DECA.
--	--	--	--------------------------------------

O sistema de aproveitamento de águas consiste na captação de águas pluviais da cobertura através de calha e tubulações com caminhamento até o térreo. As tubulações são direcionadas horizontalmente até o reservatório de captação, com capacidade total de 1000m³ onde é armazenado o volume oriundo dos períodos de chuva. Visa o atendimento da bacia sanitária, máquina de lavar roupa, tanque e torneira externa (jardim e limpeza).

Estes reservatórios são providos de caixa para descarte da primeira chuva, denominada caixa de limpeza, cuja função é a separação de impurezas contidas no telhado e calha. O ramal de descarte da caixa de limpeza será interligado ao reservatório de irrigação.

O sistema de reuso de águas cinza consiste no tratamento da água oriunda do uso da máquina de lavar, tanque, lavatório e chuveiro que serão encaminhadas até a Zona de Raízes, onde as tubulações serão direcionadas horizontalmente até o reservatório de irrigação, com capacidade total de 300m³. O sistema de irrigação será de até 158m² de forma pressurizada ou por vala de infiltração.

Os reservatórios de captação das águas de chuva também serão abastecidos por sistema de alimentação de água oriunda dos poços artesianos e por rede da concessionária (CAERN). O abastecimento destes reservatórios pela concessionária só será efetuado em casos extremos onde não seja possível a utilização das águas dos poços artesianos e coincida com a falta de chuva.

A memória de cálculo do sistema de racionalização de água considerado no projeto da habitação em estudo é detalhada no APÊNDICE E – MEMÓRIA DE CÁLCULO (ÁGUA).

4.4 Discussão dos resultados

Ao final da análise do estudo de caso, os multicritérios e seus parâmetros organizados na forma de checklist serviram de base para a proposição das recomendações de projeto, de forma a permitir o entendimento da viabilidade dos aspectos técnicos e construtivos para a produção de outras habitações de baixo impacto ambiental no clima quente e úmido.

A aplicação do checklist (APÊNDICE B – CHECKLIST DOS MULTICRITÉRIOS) desenvolvido referente aos multicritérios de impacto ambiental

permite o aprofundamento do conhecimento quanto ao processo projetual e deve auxiliar na elaboração de novas habitações de baixo impacto ambiental.

Todos os resultados foram analisados por meio de desempenho satisfatório e não satisfatório conforme o atendimento dos parâmetros estabelecidos no item 4 deste estudo para cada subcritério adotado.

5 ANÁLISE

Este capítulo apresenta os principais resultados das categorias “conforto térmico”, “conforto luminoso”, “gestão de energia”, “gestão de água” e “materiais construtivos” separadamente através da aplicação da análise dos impactos ambientais.

5.1 O projeto

A equipe de arquitetos que elaborou o projeto arquitetônico foi formada pela autora deste estudo e outros quatro arquitetos, todos pesquisadores do Labcon-UFRN no âmbito da Rede de Eficiência Energética⁷. A HabtØ serviu de base para produções acadêmicas através de um projeto de pesquisa, ensino e extensão vinculado à UFRN. Além dos projetistas responsáveis pelo projeto arquitetônico, a habitação envolveu pesquisadores, colaboradores da iniciativa privada e outros profissionais.

As tarefas de coordenação, articulação e facilitação das atividades foram realizadas pela autora deste estudo, em conjunto com o cliente e professor Aldomar Pedrini. A atuação e a experiência na área de eficiência energética foram características peculiares do cliente deste projeto e ponto chave na concretização da proposta da habitação visando o baixo impacto ambiental em estudo.

O projeto da HabtØ está localizado na zona sul da cidade de Natal, capital do Rio Grande do Norte (Figura 12). O entorno do terreno é caracterizado pelo uso residencial, institucional (escola particular) e de serviço público (Secretaria de Meio Ambiente do Município de Natal - SEMURB), além da área de praça pública com quadra de esportes (Figura 13). A tipologia do projeto proposto não possui qualquer semelhança com as outras edificações residenciais encontradas no entorno. No entanto, busca um diálogo com o mesmo, ao ter suas entradas (pedestre e veículo) e fachada frontal voltadas para a praça e o fechamento do lote por cerca com tela metálica tensionada, possibilitando um contato visual (Figura 14).

⁷ A Rede de Eficiência Energética em Edificações (R3E) é formada por 12 laboratórios presentes em Universidades brasileiras distribuídas nas cinco regiões do país (UFRN, UFAL, UFF, UFMG, UNB, UFPEL, UFV, UNICAMP, UFSC, UFMS, UFC, UFPA), onde foram realizadas pesquisas, capacitações sobre etiquetagem. O Convênio iniciou em 2010 e foi finalizado em 2015.

Figura 12 - Zonas e bairros de Natal/RN



Fonte: SETUR (2018)

Figura 13 - Localização aérea do terreno



Fonte: Adaptado de GOOGLE (2016)

Figura 14 - Imagem do terreno



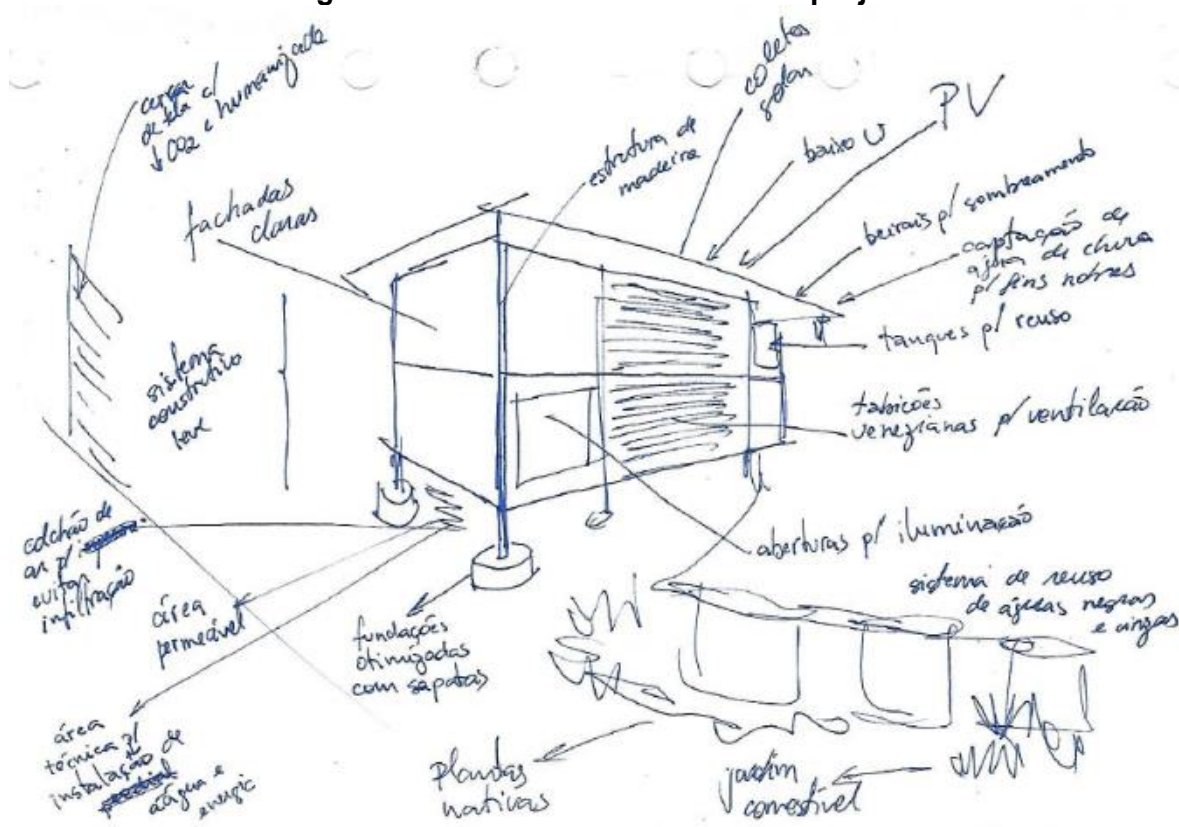
Fonte: Acervo de André Alves

A concepção projetual da HabtØ é resultado do amadurecimento de ideias anteriores, alterações no programa de necessidades e consolidação do partido que ocorreu ao longo de quatro anos. Surgiu da necessidade do cliente e proprietário do

terreno em construir sua casa. Em 2011, o projeto inicial era denominado Mini-casa, que posteriormente teve seu programa e dimensões reduzidos e passou a ser caracterizado como Micro-casa. Ao final do processo, o resultado é formado por um programa de necessidades mínimo, que atende satisfatoriamente às necessidades do cliente.

O ponto de partida do projeto surge dos princípios do arquitetura sustentável no setor de construção, através da concepção de uma casa compacta pautada nos conceitos de “baixo impacto ambiental” e “eficiência energética”. De forma que cada diretriz idealizada foi indicada num croqui, produto de uma das reuniões iniciais do processo projetual, conforme apresentado na Figura 15. Esses aspectos conceituais se desdobram em condicionantes do programa de necessidades, da análise do terreno, dos aspectos de implantação, com vistas à mudança de paradigmas construtivos regionais.

Figura 15 – Conceitos e diretrizes do projeto



Fonte: Acervo dos projetistas

A concepção de projeto energeticamente eficiente e de baixo impacto ambiental parte da consideração das estratégias bioclimáticas. Neste caso, projetou-se a partir

das premissas de ventilação e iluminação natural, sombreamento dos fechamentos e isolamento térmico. Além da aplicação de recursos passivos, foi considerado o baixo impacto no terreno com a maximização das áreas permeáveis e a elevação da edificação, a tectônica dos materiais com estruturas aparentes e a eficiência energética da envoltória, da iluminação e dos equipamentos utilizados na habitação.

Desta forma, a estratégia de ventilação natural foi idealizada a partir de elementos inseridos nos fechamentos externos como, painéis móveis com folha em tabicões ou venezianas. Os fechamentos externos em painéis modulados, com solução para ventilação natural, deveriam dialogar e permitir a integração do vidro, possibilitando o aproveitamento da luz natural. Como decorrência da exposição à radiação solar típica da localização em estudo, foram indicados inicialmente o uso de grandes beirais, baixa transmitância térmica na cobertura e fachadas claras. A proteção solar das fachadas deveria apresentar-se de forma maximizada sem perder a fração de céu visível necessário ao aproveitamento da luz natural, e sem comprometer a integração e o contato visual entre o interior e o exterior.

Observa-se que o partido arquitetônico privilegiou também a redução do impacto ambiental através de: uso de materiais por meio de adoção de sistemas construtivos leves, refletores e renováveis; baixa produção de resíduos por meio de sistemas pré-fabricados; e a possibilidade de reuso e a reciclabilidade de partes ou toda a edificação. Quanto à conservação de água, o partido contempla o uso de água de chuva, e o tratamento e reuso de água residuária a partir do sistema de leito de raízes. A produção de energia renovável por painel fotovoltaico e o aquecimento de água por aquecimento solar passivo são recursos adotados para conservação de energia elétrica.

O programa de necessidades reduzido solicitado pelo cliente, foi resolvido a partir da integração dos ambientes e do contato visual com o exterior. A forma resultante destes condicionantes, levou a uma implantação da habitação em lâmina retangular, estreita e alongada (Figura 16). As maiores fachadas foram orientadas a norte e sul, visando a otimização da luz e ventilação naturais, baseado na trajetória solar e na incidência dos ventos predominantes. O programa de necessidades da HabtØ é composto por sala, cozinha, banheiro, área de serviço, varanda e quarto distribuídos em dois pavimentos (Figura 17 e Figura 18).

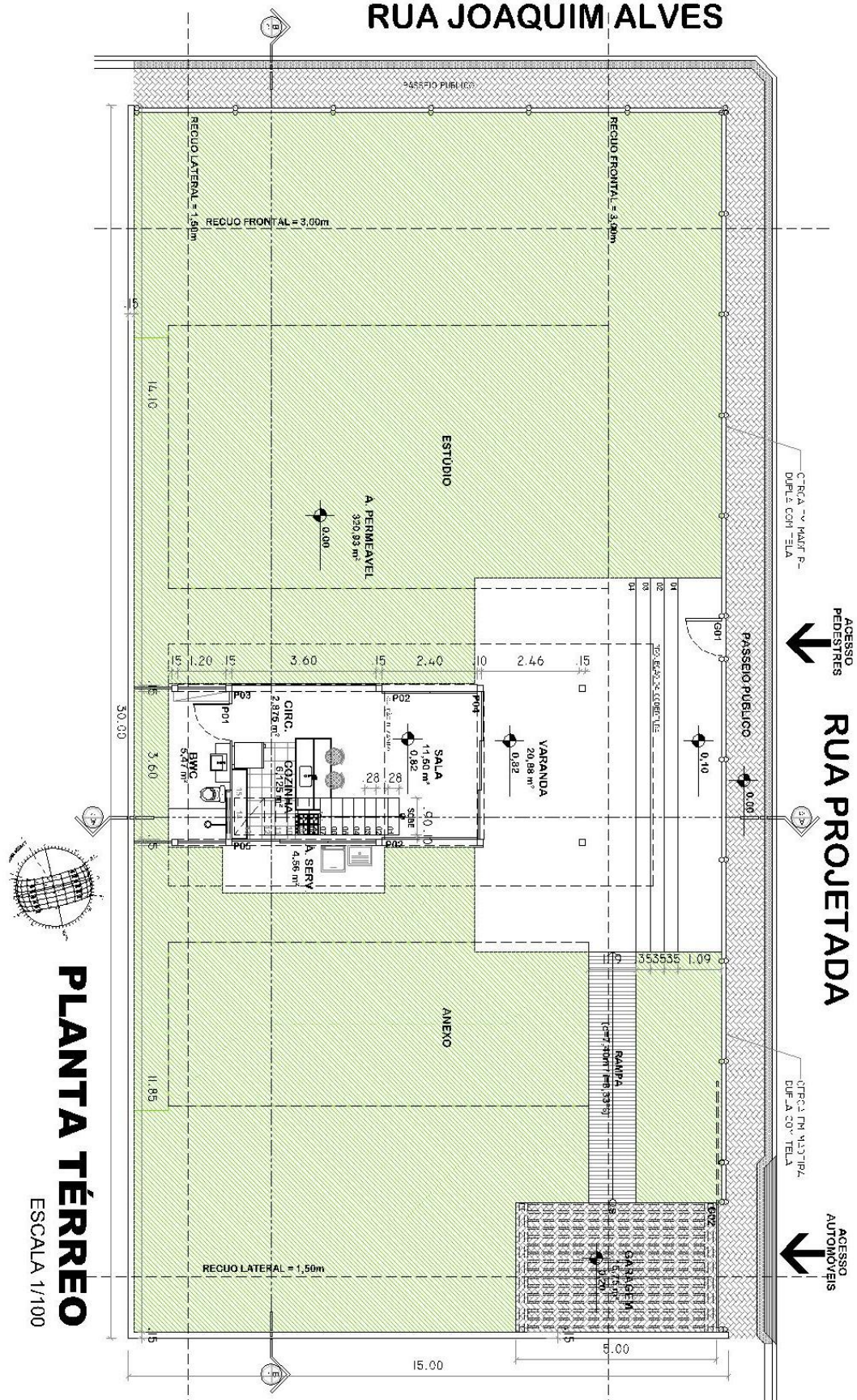
Figura 16 - Vistas externas da habitação



Fonte: Acervo pessoal (2015)

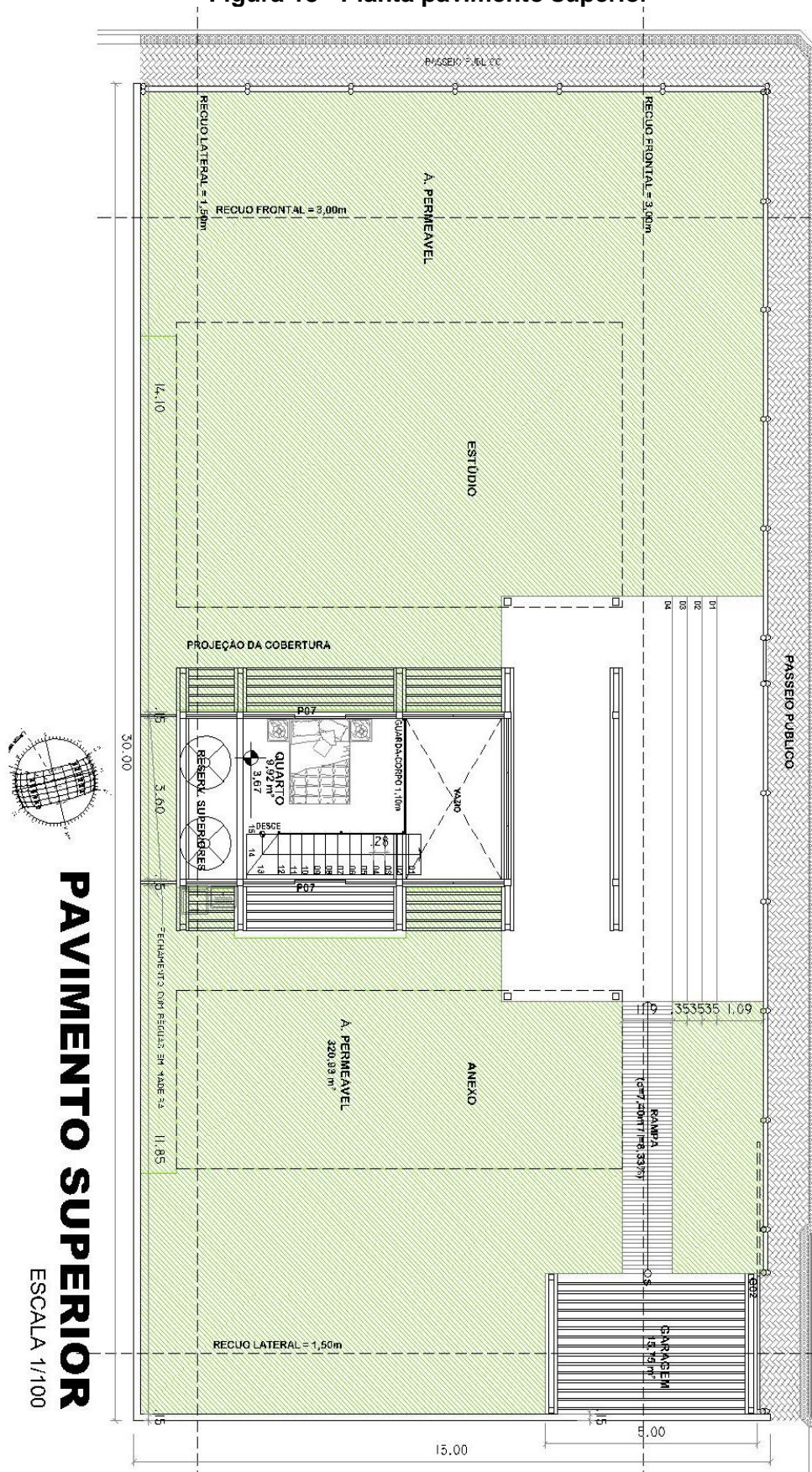
A elevação da habitação com relação ao solo a fim de: amenizar o impacto no terreno e a movimentação de terra, aumentar a exposição do volume à ventilação natural, permitir o acesso à manutenção de instalações, preservar a madeira e proteger o sistema construtivo escolhido da umidade natural do solo. A suspensão da edificação foi idealizada a partir da fundação em sapatas.

Figura 17 - Planta baixa térreo
RUA JOAQUIM ALVES



Fonte: SILVA et al. (2014)

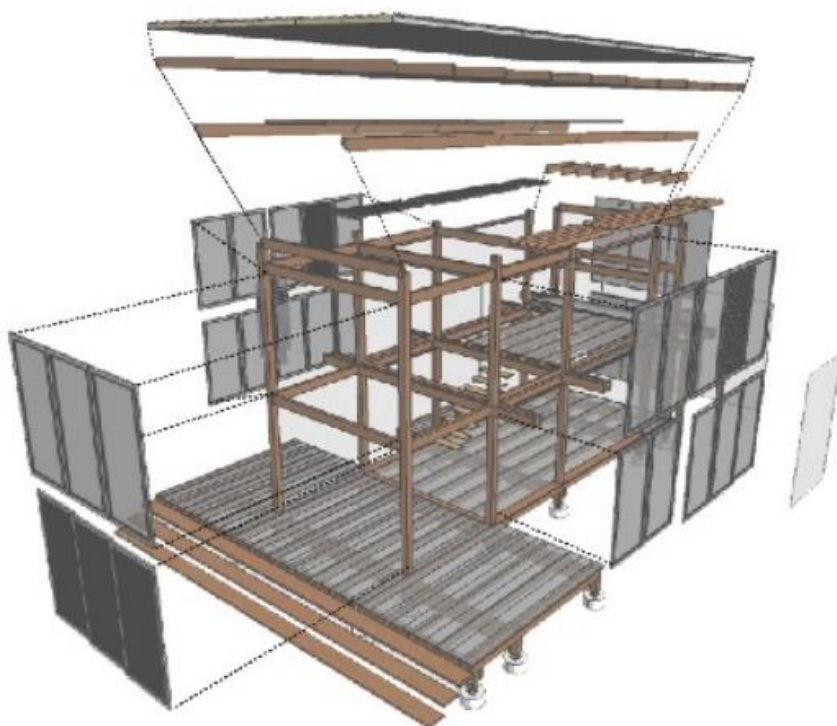
Figura 18 - Planta pavimento superior



Fonte: SILVA et al. (2014)

Na etapa de anteprojeto, fica evidente a racionalização dos materiais construtivos utilizados na habitação, através da modulação em planta baixa de 1,20m x 1,20m. Os materiais selecionados foram: painéis de madeira para fechamento vertical (cego, com vidro e com veneziana), sistemas estruturais pilar-viga em madeira (sistema leve) e a cobertura na cor clara (telha metálica com isolamento térmico) (Figura 19).

Figura 19 - Maquete explodida da estrutura



Fonte: OLIVEIRA (2016)

Na elaboração do projeto estrutural, a dificuldade inicial foi a contratação de profissional para o dimensionamento e desenvolvimento do projeto compatível com o estudo arquitetônico. Foi necessária a contratação de dois profissionais, uma vez que o primeiro estudo apresentou um superdimensionamento da estrutura, com excesso de material, resultando num grande impacto ambiental, assim como um grande impacto estético na proposta arquitetônica. O projeto estrutural final foi realizado por um escritório paulista especializado em estruturas de madeira. O resultado foi compatível com o projeto arquitetônico, após ajustes no projeto estrutural em decorrência da convergência entre os arquitetos e engenheiros projetistas, como adaptações na estrutura adicionando conectores metálicos e re-dimensionamento das peças conforme disponibilidade no mercado de Natal.

Outra dificuldade inicial foi a contratação e elaboração do projeto de fundação. Inicialmente o projeto elaborado por um profissional local apresentou uma proposta incompatível com o partido arquitetônico e com o estudo preliminar, que previa uma fundação em estacas, com pouco uso de concreto, e liberação do solo para a permeabilização das águas e integração com o paisagismo. De forma que, o segundo escritório contratado também era de fora do Estado e foi indicado pelo escritório que compatibilizou a estrutura. Foram apresentadas duas versões, sendo a primeira com um dimensionamento de sapatas e sistema superestimado, apesar da compatibilidade estética da proposta, o que acarretaria em altos custos. O projeto de fundação final foi adaptado conforme necessidade local, condicionantes técnicos e financeiros. A necessidade local refere-se à pouca familiaridade do engenheiro projetista com o tipo de terreno e de fundação usual no local, levando à proposição de uma fundação muito profunda, resultando num grande volume de concreto, correspondente ao mesmo utilizado em toda a estrutura de uma habitação convencional (estrutura de concreto em pilar e viga e alvenaria em tijolo cerâmico). Por sua vez, o suporte técnico dado pela experiente equipe de colaboradores local respaldou a alteração no dimensionamento da fundação.

A cobertura apresenta grandes beirais, formado por sistema construtivo leve, que necessita de reduzido sistema estrutural. Integrado a este, os protetores solares laterais são empregados nas fachadas Norte e Sul, ao longo de toda sua extensão. Os elementos de sombreamento, beirais (Figura 20 e Figura 21) e protetores solares, modelados por meio do programa *Sun Tool* (MARSH, 2001) demonstram seu desempenho e influência no conforto térmico. Nessa abertura da fachada Oeste, há 100% de sombreamento ao longo de todo o ano até as 16h30, podendo chegar até as 17h nos meses de verão.

Figura 20 - Sombreamento do beiral da fachada Oeste (23 de abril, 16h30)

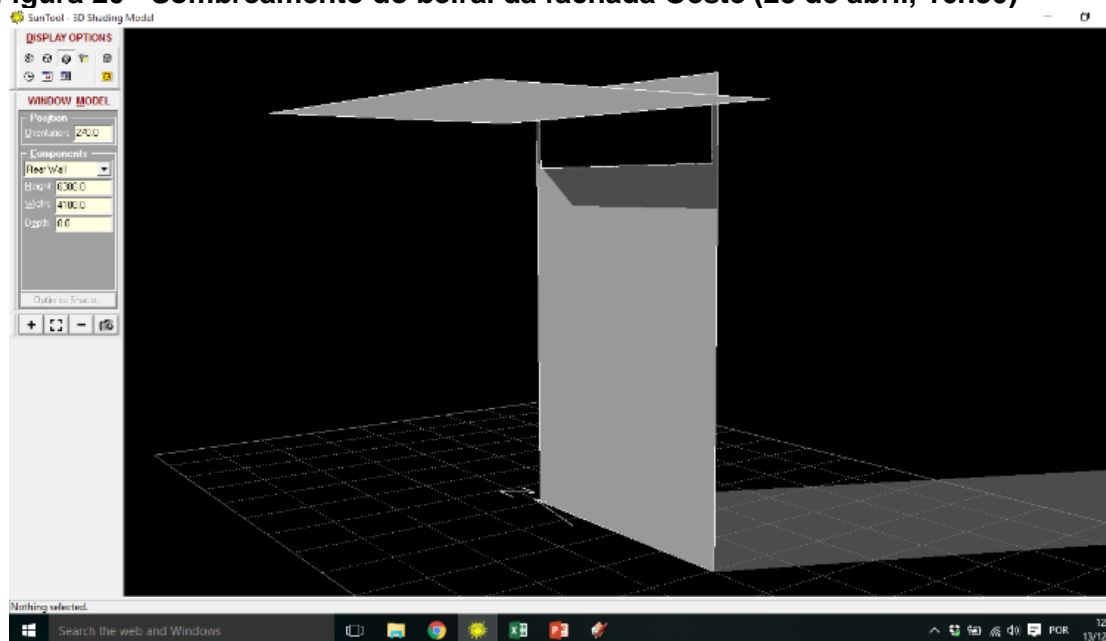
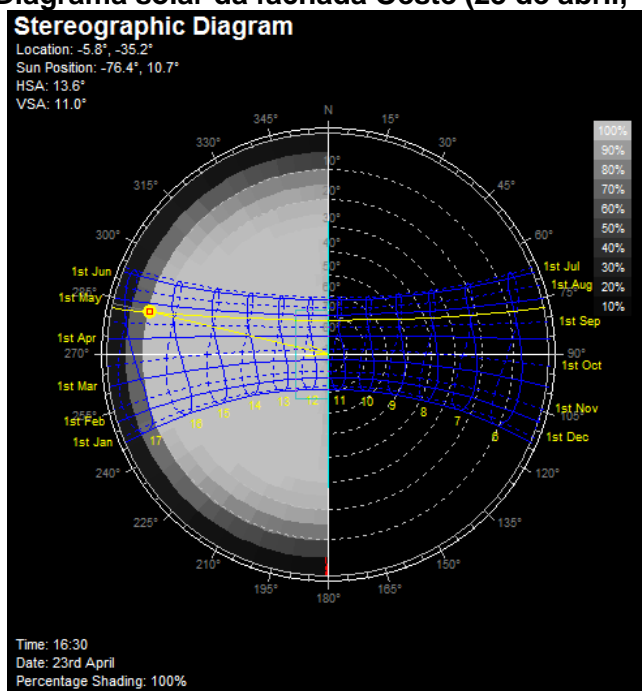


Figura 21 - Diagrama solar da fachada Oeste (23 de abril, 16h30)















Além dos responsáveis pelos projetos de arquitetura, estrutural, e de fundações, foi contratado o projeto de instalações hidrossanitárias e a consultoria em tratamento de águas residuárias (leito de raízes). De forma voluntária, houve colaborações de especialistas em racionalização do consumo de água e em madeira.

A gestão integrada dos trabalhos se deu através de reuniões semanais ou mensais, com a participação de todos os arquitetos, do construtor e do cliente, para que fossem delegados os encaminhamentos, com prazos de conclusão, responsável e atualização da situação das atividades. Eventualmente os demais colaboradores e projetistas compareciam para a apresentação e discussão das propostas. Dentre as atividades realizadas houve a compatibilização dos projetos (arquitetônico x estrutural x fundações x instalações), o detalhamento do projeto (estrutural, esquadrias), definição do tipo de madeira e dos materiais construtivos, ferragens e conexões, orçamentos e o estudo do RTQ-R.



5.2 Conforto térmico

O conforto térmico foi avaliado pelo critério de desempenho térmico, cujos subcritérios são apresentados no Quadro 12, sendo possível observar aqueles que foram considerados em cada fase de projeto, demonstrando que a maioria da aplicação e análises foram realizadas na etapa de estudo preliminar.

Quadro 12 - Subcritérios de desempenho térmico e as etapas do processo projetual

Subcritérios	PP	EP	AP
Impacto da cor externa			
Aberturas permeáveis			
Áreas envidraçadas			
Sombreamento das aberturas			
Transmitância da envoltória	-	-	-

PP: pré-projeto / EP: estudo preliminar / AP: anteprojeto

: existente / : inexistente / -: nulo

Na etapa de pré-projeto, as estratégias bioclimáticas enumerados pelo cliente indicaram a preocupação com a ventilação natural, iluminação natural e atendimento da condição de conforto, a fim de aproveitar o potencial dos condicionantes locais e climáticos. A meta inicial era ponderar área de aberturas permeáveis e área envidraçada para proporcionar a remoção de calor do interior da edificação, o nível de iluminância necessário para a ausência diurna de iluminação artificial e o contato visual com o entorno da edificação. As diretrizes de forma e orientação também foram



estabelecidas pela melhor orientação relativas ao clima quente e úmido, com as maiores fachadas para o norte e sul, o que resultou na fachada principal para a orientação oeste.






Na fase de estudo preliminar, foram realizadas as primeiras simulações termo-energéticas para avaliar as soluções iniciais de esquadrias com as áreas de aberturas permeáveis e áreas envidraçadas. Foram simulados também variações de cor da superfície externa do fechamento para auxiliar na seleção da madeira. A partir dessas primeiras avaliações, constatou-se a necessidade de inserção de elementos de sombreamento para reduzir a incidência de radiação solar direta nas aberturas envidraçadas. As variações de cor externa, tipos de esquadrias e elementos de sombreamento garantiram o conforto térmico no ambiente, alterando apenas o percentual de necessidade de movimentação de ar.



No anteprojeto, a compatibilização do projeto arquitetônico com o projeto estrutural permitiu o refinamento de soluções construtivas, resultado na fase de detalhamento do projeto arquitetônico. Entretanto com relação ao conforto térmico, essa compatibilização não interferiu nas soluções estabelecidas nas etapas anteriores.

O desempenho térmico dos subcritérios simulados é apresentado no Quadro 13, sendo possível observar aqueles que atingiram desempenho satisfatório de acordo com o parâmetro mínimo de conforto térmico adotado (80% das horas do dia em conforto somado ao conforto obtido por movimento de ar) quanto ao impacto da cor externa, aberturas permeáveis, áreas envidraçadas e sombreamento das aberturas.

Quadro 13 - Resultado geral dos subcritérios de desempenho térmico quanto ao conforto térmico (APÊNDICE A – DESEMPENHO TÉRMICO)

Subcritérios	Alternativas simuladas		
Impacto da cor externa	Caso A1 Absortância 30%	Caso A2 Absortância 50%	Caso A3 Absortância 70%
	 (1% de Desconforto)	 (2% de Desconforto)	 (4% de Desconforto)
Aberturas permeáveis	Caso B1 Localização na fachada	Caso B2 Orientação	Caso B3 Quantidade
	 (1% de Desconforto)	 (1% de Desconforto)	 (1% de Desconforto)

Áreas envidraçadas	Caso B4 Sem áreas envidraçadas e com ventilação (100%)	Caso B5 Sem áreas envidraçadas e com ventilação (50%)	Caso B6 Com áreas envidraçadas e sem proteção solar
	 (1% de Desconforto)	 (1% de Desconforto)	 (1% de Desconforto)
Sombreamento das aberturas	Caso C1 Com ventilação natural	Caso C2 Sem ventilação natural	-
	 (5% de Desconforto)	 (16% de Desconforto)	-

 Atendimento aos parâmetros
  Não atendimento aos parâmetros

As análises serão detalhadas a seguir. O subcritério da transmitância térmica, apesar de não ter sido pensado em nenhuma das etapas do projeto, foi calculado automaticamente uma vez que foram configurados os materiais e sistemas construtivos da parede e cobertura para a realização da simulação termo-energética. Em seguida foram analisadas: absorvência à radiação solar das superfícies externas da envoltória, de áreas permeáveis, áreas envidraçadas e sombreamento das aberturas.

Análise da transmitância

A composição da parede externa adotada foi de painel em aglomerado de partícula de madeira com 1,5cm de espessura. Para cobertura foi definido a telha sanduíche (alumínio / EPS expandido / alumínio) com espessura de 5,2cm. O cálculo da transmitância térmica para os sistemas construtivos das paredes externas e da cobertura foi realizado automaticamente no software de simulação *DesignBuilder*, conforme especificações do projeto arquitetônico. Os valores de transmitância térmica estão indicados na Tabela 6.

Tabela 6 - Transmitância térmica dos elementos da envoltória

Elementos da envoltória	Descrição	U (W/m².K)
Paredes externas	Painel de madeira com 1,5cm de espessura	2,985
Cobertura	Telha sanduíche (alumínio/ EPS expandido/ alumínio) com 5,2cm de espessura	0,787

A absorptância do material da parede externa (madeira) utilizada na simulação térmica, considerando a especificação de projeto, é de 0,3, o que permite um valor de no máximo 3,70 W/m²K para a transmitância.

O valor da absorptância à radiação solar da superfície exterior da cobertura em telha sanduíche de alumínio na cor branca foi de 0,1, o que permite um valor de transmitância até 2,0 W/m²K.

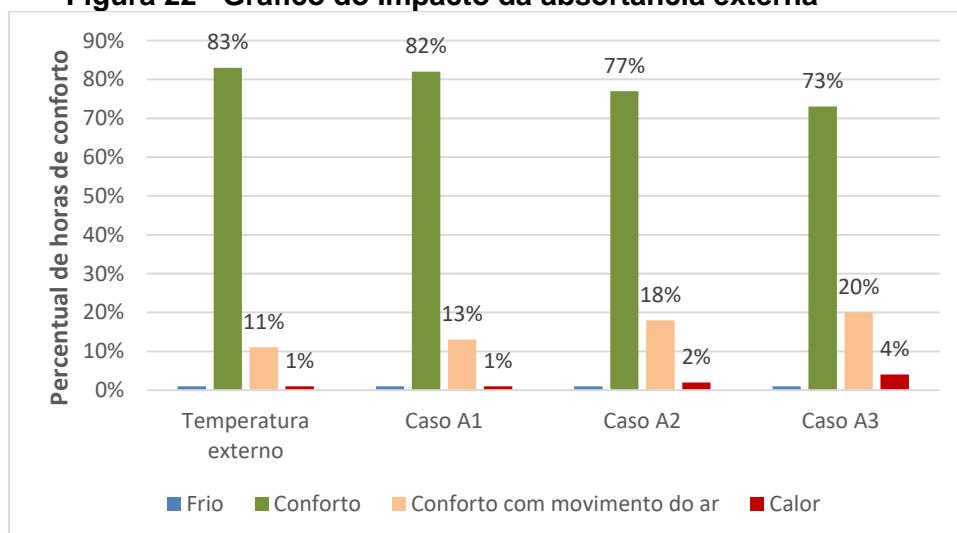
Os dados calculados demonstram que para o subcritério “transmitância da envoltória”, os parâmetros de transmitância térmica da parede externa (para $\alpha \leq 0,6$, o $U \leq 3,7$ W/m²K) e da cobertura ($U \leq 2,00$ W/m²K) são atendidos pelo parâmetro definido neste estudo e pela NBR 15575. (ABNT, 2013a).

Análise de impacto da cor externa

Os valores de absorptância a radiação solar de 30% (caso A1), 50% (caso A2) e 70% (caso A3) foram comparados com as condições de temperatura externa, considerada a condição mais favorável ao conforto térmico.

O valor da absorptância de 30% (caso A1) é suficiente para aproximar os valores de temperatura interna com os de temperatura externa, enquanto que o aumento da absorptância impacta na maior necessidade de movimento do ar para remoção do calor a fim de proporcionar o conforto, conforme Figura 22.

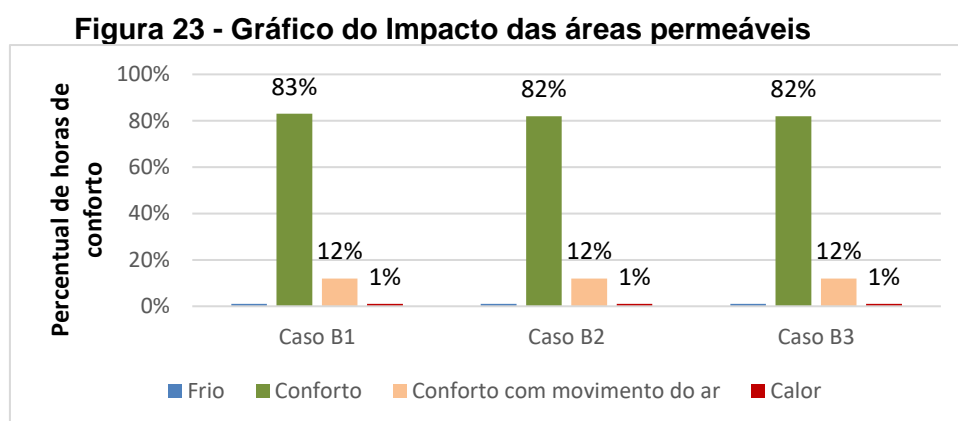
Figura 22 - Gráfico do Impacto da absorptância externa



A absorptância da parede externa (madeira) utilizada na simulação térmica, considerando a especificação de projeto, é de 0,3, indicando o atendimento do parâmetro (α média $\leq 0,5$) de absorptância para o subcritério “Impacto da cor externa”.

Análise das aberturas permeáveis

A área permeável pensada inicialmente, com tabicões na parte de baixo da fachada Sul para entrada de ar, e tabicões ao alto da fachada Norte para a saída de ar (caso B1), são suficientes para aproximar as condições de ar interna da externa (Figura 23). O motivo é o alto potencial de ventilação, que facilmente atinge 100 renovações/h, com exceção dos períodos de calmaria, como no início da manhã. O aumento de áreas permeáveis pode se justificar se houver maior carga interna de calor do que o previsto. Na prática, a área permeável projetada inicialmente é suficiente para alcançar o conforto térmico se as janelas forem mantidas abertas. Para análise também foram considerados aberturas para ventilação em todas as fachadas (caso B2) e o dobro da quantidade original de área para ventilação (caso B3).



Além do percentual das horas de conforto foram considerados os parâmetros da área de ventilação efetiva por esquadria e a proporção de área de ventilação por esquadria entre distintas fachadas para a ocorrência da ventilação cruzada. As esquadrias com sua orientação, tipo, área de abertura e área efetiva para ventilação utilizadas nos ambientes de permanência prolongada do projeto são descritas na Tabela 7.

Tabela 7 - Área efetiva de ventilação por fachada

Orientação	Tipo	Área da esquadria	Área efetiva de ventilação
Norte	Veneziana	1,478m ²	100%
	Madeira e vidro	3,796 m ²	100%
	Bandeira de luz	1,716 m ²	50%
	Veneziana	1,478m ²	100%
	Veneziana	2,598m ²	100%
Sul	Veneziana	2,502m ²	100%
	Madeira e vidro	4,136 m ²	100%

Oeste	Bandeira de luz	1,632 m ²	50%
	Veneziana	2,523m ²	100%
	Madeira e vidro	4,611 m ²	100%

O cálculo das áreas de abertura por fachada para ventilação cruzada, conforme parâmetro é apresentado na Tabela 8. Demonstra o atendimento da condição para ventilação cruzada, onde a relação das áreas de aberturas da fachada com maior quantidade de esquadria pelo somatório das áreas de aberturas das demais fachadas deve ser maior ou igual a 0,25 ou 25%.

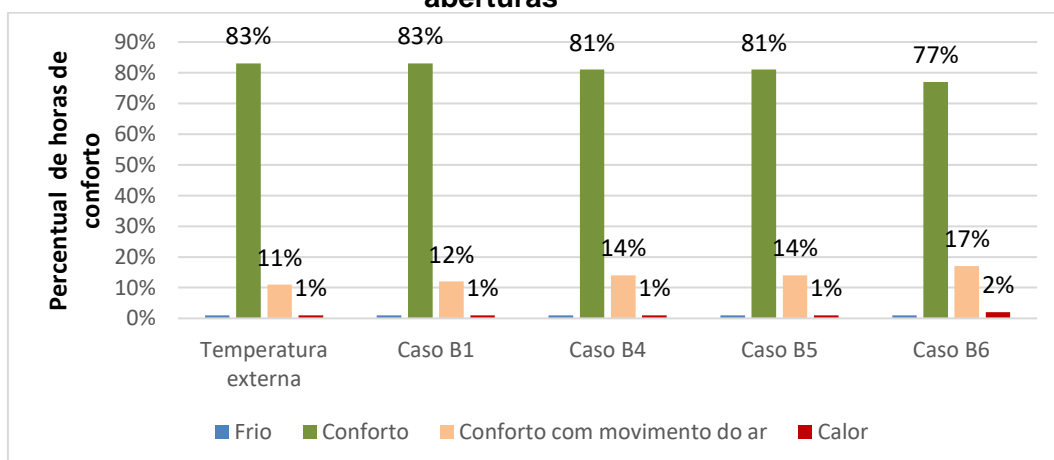
Tabela 8 - Cálculo de abertura para ventilação cruzada

Fachada	Tipo
Área Aberturas orientação Norte (A1)	11,066 m ²
Área Aberturas orientação Sul (A2)	10,793 m ²
Área Aberturas orientação Leste (A2)	0 m ²
Área Aberturas orientação Oeste (A2)	4,611 m ²
A2/A1	1,392011567
Atende A2/A1 maior ou igual a 0,25?	Sim

Análise das áreas envidraçadas

Conforme Figura 24, as bandeiras de luz pouco impactam no conforto térmico, justificando seu uso para a entrada de luz natural. Ao aumentar as áreas envidraçadas (caso B6), há um aumento de 3% de horas de conforto com movimento de ar, e aumento de 1% para 2% de ocorrência de desconforto por calor.

Figura 24 - Gráfico do Resumo comparativo entre as variações de impacto das aberturas

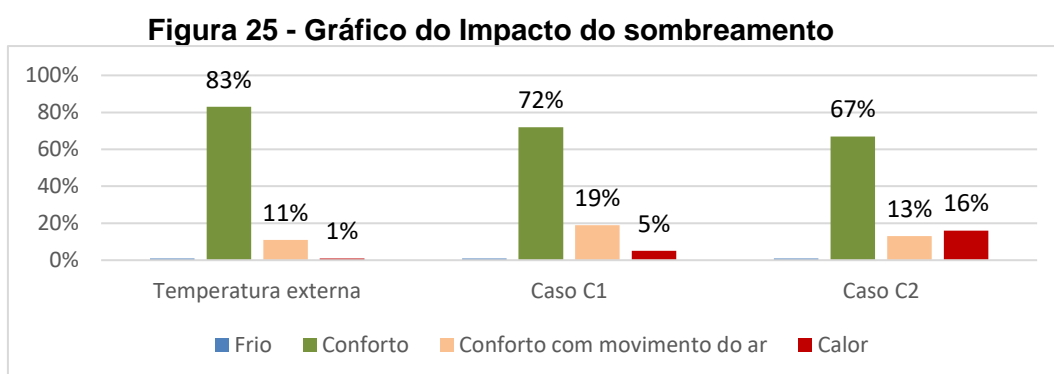


As áreas envidraçadas propostas no projeto (caso B1) são suficientes para atender ao parâmetro definido pelas condições de conforto térmico, seja com 50% de

área de ventilação efetiva (caso B5) ou com 100% de área de ventilação efetiva (caso B4).

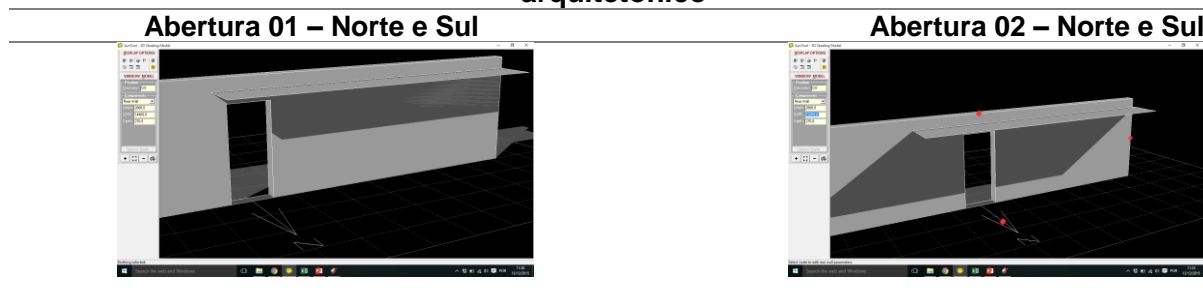
Análise dos sombreamentos das aberturas

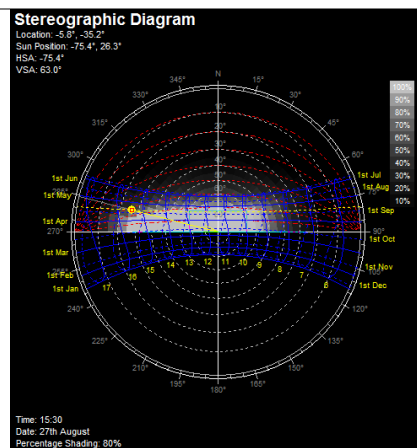
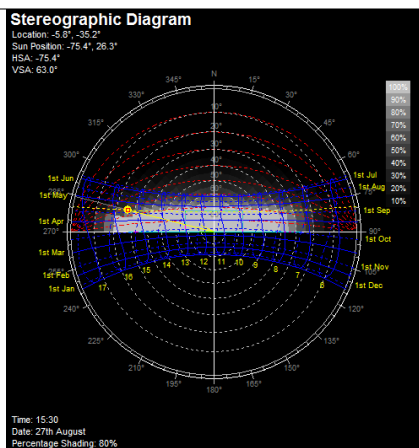
A influência do sombreamento das aberturas nos valores de temperatura do ar é pequena quando há muita ventilação natural. Na ausência de sombreamento, o desconforto por calor aumenta de 1% (clima externo) para 5% enquanto houver ventilação (caso C1). Entretanto, ao eliminar a ventilação, o desconforto por calor aumenta para 16% das horas do ano (caso C2, Figura 25).



A máscara de sombra das aberturas envidraçadas previstas no projeto foi obtida através do software *Ecotect*. A representação do sombreamento em percentual foi realizada com diagramas do tipo estereográfico, conforme apresentado na Figura 26, para as fachadas norte, sul e oeste, respectivamente.

Figura 26 - Máscaras de sombra das aberturas envidraçadas conforme projeto arquitetônico





Fachada Norte: sol antes das 8h após as 16h de maio a agosto

Radiação direta nos meses de junho e julho.

Fachada Sul: sol antes das 8h após as 16h de novembro a fevereiro

Radiação direta nos meses de dezembro e janeiro.

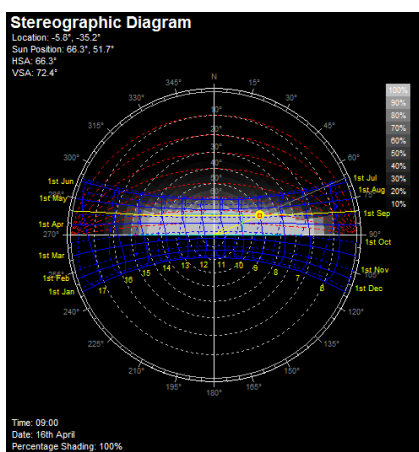
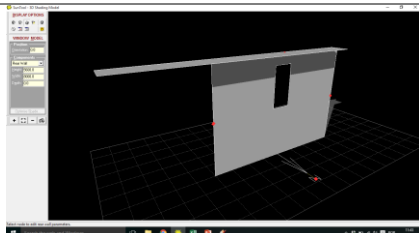
Fachada Norte: Sol antes das 9h após as 15h30 de maio a agosto

Radiação direta nos meses de junho e julho.

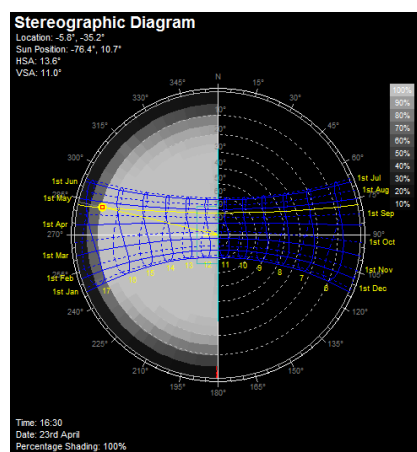
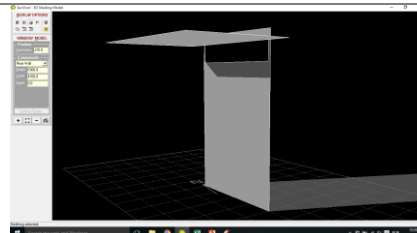
Fachada Sul: Sol antes das 9h após as 15h30 de novembro a fevereiro

Radiação direta nos meses de dezembro e janeiro.

Abertura 03 – Norte e Sul



Bandeira de luz – Oeste



Fachada Norte: Sol antes das 7h após as 15h:

Mai-Set

Fachada Sul: Sol antes das 7h após as 15h

Nov-Mar

Sol antes das 6h30 e após as 16h

O sombreamento das aberturas proposto no projeto arquitetônico é suficiente para atender às condições de conforto térmico com movimentação de ar, de forma que atende ao parâmetro estabelecido. Apesar das máscaras de sombras mostrarem

que não há obstrução solar de 100% da radiação solar direta para os horários entre 8-16hrs.

5.3 Conforto luminoso

A integração dos subcritérios do conforto luminoso com as etapas de projeto em que foram considerados são apresentados no Quadro 14, demonstrando que os subcritérios foram mais enfatizados na etapa de anteprojeto.

Quadro 14 - Subcritérios de conforto luminoso e as etapas do processo projetual

Subcritérios	PP	EP	AP
<i>Desempenho luminoso natural</i>			
Área de iluminação	●	●	●
Nível mínimo de iluminância	○	○	●
Disponibilidade de luz natural	○	○	●
Uniformidade da luz natural	○	○	●
<i>Desempenho luminoso artificial</i>			
Nível mínimo de iluminância	●	○	○
Densidade de potência instalada	○	●	○
Eficiência energética	○	○	●

PP: pré-projeto / EP: estudo preliminar / AP: anteprojeto

●: existente / ○: inexistente / -: nulo












Na etapa de pré-projeto, a meta do cliente é fazer uso de iluminação natural sempre que possível e de forma otimizada. O objetivo era ponderar a área envidraçada responsável pela iluminação natural com a área de fachada opaca para diminuir a entrada de radiação solar direta. As diretrizes enfatizaram a importância do contato visual entre o interior e exterior da habitação, de forma integrada com as áreas sociais e o controle visual com relação às áreas íntimas. Quanto à iluminação artificial, o atendimento do nível mínimo de iluminância quando da impossibilidade de aproveitamento da luz natural, foi inicialmente estabelecido.


Na fase de estudo preliminar, as primeiras análises de desempenho luminoso foram realizadas, orientando quanto à área, formato e localização das aberturas para iluminação natural. Quanto à rotina de uso e densidade de potência referente à iluminação artificial, foram utilizados esses subcritérios para a realização das análises de desempenho térmico, com base nas definições do cliente e do RTQ-R.


No anteprojeto, foram realizadas a simulações de disponibilidade e uniformidade de luz natural com base no nível de iluminância mínimo requerido. Após as análises, foi constatada a adequação da solução arquitetônica proposta, e não foram necessárias adaptações de áreas para iluminação. A escolha de lâmpadas se deu nesta etapa, devido à necessidade de especificação dos pontos de luz que devem possuir eficiência energética superior a 75 lm/W para atendimento de bonificação do RTQ-R.

O desempenho luminoso dos subcritérios simulados é apresentado na Quadro 15, sendo possível observar os subcritérios que atingiram desempenho satisfatório quanto à disponibilidade de luz natural ($DA \geq 80\%$ em 80% da área do ambiente) de acordo com o nível mínimo de iluminância requerido (100-300-500lux) e uniformidade da luz natural (relação máxima de 1:10 entre iluminância mínima e máxima).

Quadro 15 - Resultado de desempenho luminoso dos subcritérios

Subcritérios	Alternativas simuladas		
	100lx	300lx	500lx
Nível mínimo de iluminância			
Disponibilidade de luz natural	100lx	300lx	500lx
			
Uniformidade da luz natural	100lx	300lx	500lx
			
Nível mínimo de iluminância	-		
Densidade de potência instalada			
Eficiência energética			

 Atendimento aos parâmetros de disponibilidade e uniformidade de luz natural, considerando atendimento mínimo de 80% da área do ambiente

 Não atendimento aos parâmetros de disponibilidade e uniformidade de luz natural considerando atendimento mínimo de 80% da área do ambiente

As análises serão detalhadas a seguir, inicialmente pelos subcritérios de iluminação natural e em seguida de iluminação artificial.

Análise da iluminação natural

A área de abertura envidraçada que visa a iluminação natural e sua localização na fachada prevista no projeto é suficiente para garantir o nível mínimo de iluminância

(60lux) e atender satisfatoriamente os subcritérios de disponibilidade de luz natural (disponibilidade de luz natural em 80% da área do ambiente – $DA \geq 80\%$) e de uniformidade (relação máxima de 1:10 entre iluminância mínima e máxima) de luz natural (APÊNDICE F – DESEMPENHO LUMÍNICO).

O percentual de abertura na fachada (PAF), caracterizado pela relação entre área de abertura e área opaca da fachada, conforme proposição do projeto arquitetônico corresponde a 20%. Este é suficiente para garantir um bom desempenho quanto aos níveis de iluminância simulados (100 lux, 300 lux e 500 lux).

Quanto à disponibilidade de luz natural, todos os casos obtiveram autonomia de luz natural acima de 80% em todo o ambiente. Com relação à uniformidade da luz natural, 100% dos casos obtiveram relação entre iluminância mínima e máxima inferior a 1:10, visto que não existe entrada de radiação solar direta no ambiente.

A área efetiva de abertura para iluminação natural proposta no projeto arquitetônico, correspondente ao somatório das áreas de aberturas efetivas para luz natural de todas as esquadrias, é de 64,5% com relação à área de piso. O valor é bem superior ao mínimo (12,5%) estabelecido pelo subcritério.

Análise da iluminação artificial

Quanto a iluminação artificial, o subcritério de nível mínimo de iluminância não foi conferido, por não existir projeto luminotécnico com a indicação do local das lâmpadas.

A área construída total dos ambientes integrados de sala (sala, cozinha e circulação) é de 20,50m², de forma que a densidade de potência instalada (DPI) do projeto corresponde a 2,32W/m², menor que o limite máximo de DPI (6W/m²) para o ambiente de sala. Para o ambiente de quarto, a DPI é de 1,92W/m² e atende ao parâmetro estabelecido (DPI máxima de 5W/m²). A eficiência energética das fontes de iluminação escolhidos (85lm/W) atende ao parâmetro definido (superior a 75lm/W).

5.4 Gestão de energia

A aplicação dos subcritérios referentes à gestão de energia em cada etapa de projeto (Quadro 16) demonstra que a maioria foi considerado nas etapas de estudo preliminar e anteprojeto. Apenas o subcritério “tipo de painel fotovoltaico” não foi pensado em nenhuma etapa.

Quadro 16 - Subcritérios de gestão de energia e as etapas do processo projetual

Subcritérios	PP	EP	AP
Perfil de consumo energético – equipamentos eficientes	●	○	●
Disponibilidade de área – painéis fotovoltaicos	○	●	●
Disponibilidade de área – coletores solares	○	●	●
Disponibilidade de céu visível	○	●	●
Área técnica	○	●	●
Tipo de painel fotovoltaico	○	●	●
Tipo de coletor solar	○	●	●
Disponibilidade no mercado	○	●	●

PP: pré-projeto / EP: estudo preliminar / AP: anteprojeto

●: existente / ○: inexistente / -: nulo









Na fase de pré-projeto, foi definido como meta pelo cliente o amplo uso de equipamentos eficientes (eletrodomésticos, lâmpadas, etc.), em quantidade mínima necessário para permitir o conforto diário dos usuários de acordo com os seus hábitos e estilo de vida. As diretrizes de geração local de energia elétrica e aproveitamento da radiação solar para o aquecimento da água também foram estabelecidas. Além da intenção de permitir o fácil acesso a todas as instalações após a finalização da construção, para fins didáticos.

A fase de estudo preliminar foi caracterizada pelas verificações iniciais de consumo de energia, disponibilidade prévia de área para painéis fotovoltaicos, coletores solares e área técnica, assim como a existência de obstruções que pudessem prejudicar a incidência de radiação solar direta, conforme o subcritério de “disponibilidade de céu visível”. Foram feitas as pesquisas iniciais de mercado dos equipamentos a serem adquiridos em fase posterior.

Quanto aos subcritérios de energia, o anteprojeto não sofreu adaptações, uma vez que o projeto elétrico, com o dimensionamento definitivo das instalações, ainda não foi elaborado. Foram definidos os painéis fotovoltaicos e coletores solares para os sistemas de geração local e aquecimento da água. O ventilador de teto, refrigerador e as lâmpadas foram definidos visando o atendimento dos requisitos de bonificação da Procel Edifica de projeto.

O desempenho energético dos subcritérios analisados é apresentado no Quadro 17, sendo possível observar os subcritérios que atingiram desempenho satisfatório quanto ao atendimento dos parâmetros.

Quadro 17 - Resultado do desempenho energético dos subcritérios

Subcritérios	Atendimento dos parâmetros
Perfil de consumo energético da edificação	
Disponibilidade de área para painéis fotovoltaicos	
Disponibilidade de área para coletores solares	
Disponibilidade de céu visível	
Área técnica	
Tipo de painel fotovoltaico	
Tipo de coletor solar	
Disponibilidade no mercado	



Atendimento aos parâmetros



Não atendimento aos parâmetros

O dimensionamento dos sistemas de aquecimento de água (APÊNDICE C – SISTEMA AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA) e de geração de energia por fotovoltaica (APÊNDICE D – SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA) que interferem diretamente no dimensionamento do projeto arquitetônico respaldaram o atendimento dos parâmetros de disponibilidade de área para painéis fotovoltaicos, coletores solares e técnica, assim como disponibilidade de céu visível. A área total de cobertura (71,39m²) é suficiente para comportar os painéis e coletores escolhidos. Quanto aos tipos de painel fotovoltaico e coletor solar, foram escolhidos de acordo com a disponibilidade do mercado e atendimento do parâmetro, conforme indicado na Tabela 9.

Tabela 9 - Descrição de equipamentos do sistema de painel fotovoltaico e coletor solar

Equipamentos utilizados	Descrição	Etiqueta Procel
Painel fotovoltaico	Marca Axitec, Modelo AC-270M/156-60S	Sim
Coletor solar	Marca Bosch Termotecnologia, Modelo FCC-1S	Sim
Reservatório térmico	Fabricante Bosch Termotecnologia Marca Heliotek, Modelo MKP200	Sim

Os subcritérios referentes ao perfil de consumo energético da edificação e disponibilidade no mercado foram atendidos satisfatoriamente. Foram definidos

também os equipamentos eletroeletrônicos eficientes, necessários para a etiqueta Procel Edifica de projeto.

5.5 Gestão de água

A aplicação dos subcritérios referentes à gestão de água em cada etapa de projeto (Quadro 18) demonstra de forma geral que foram consideradas igualmente em todas as etapas de projeto.

Quadro 18 - Subcritérios de gestão de água e as etapas do processo projetual

Subcritérios	PP	EP	AP
Perfil de consumo de água	●	○	●
Gerenciamento de água de chuva	●	●	●
Tratamento de água servida	●	●	●
Área técnica	○	●	●

PP: pré-projeto / EP: estudo preliminar / AP: anteprojeto

●: existente / ○: inexistente / -: nulo

Na etapa de pré-projeto, as diretrizes elencadas pelo cliente indicam a redução da demanda por água tratada, o reaproveitamento da água das chuvas para consumos apropriados e o tratamento de água residuária no terreno. A diminuição da demanda se dará pelo aumento da eficiência do consumo, através de instalação de equipamentos hidrossanitários eficientes, resultando na minimização da dependência do sistema público de distribuição de água. A meta inicial era atender 100% da demanda de água para bacias sanitárias, máquina de lavar roupa, torneira externa (jardim e limpeza) e tanque pela água de chuva, e o reuso de águas cinzas para irrigação.





Na fase de estudo preliminar, foi realizado por um especialista o estudo de racionalização do consumo de água para avaliar a estimativa de uso final, do consumo total e da disponibilidade de água de chuva (Figura 27). A partir desse cenário, o estudo de Dantas (2015) constatou o atendimento de até 76,82% da demanda destinada à bacia sanitária, máquina de lavar roupa, torneira externa e tanque com o aproveitamento da água de chuva.

Na terceira fase, foi concluído o projeto hidrossanitário compatibilizado com o projeto arquitetônico, onde foram dimensionados os seguintes aspectos: as áreas destinadas às valas de infiltração, zona de raízes, sumidouros, reservatórios de água da chuva e de água potável. Nesta fase também foram definidos os equipamentos

economizadores (bacias sanitárias, lavatórios, pia de cozinha e chuveiro) responsáveis pelo uso racional de água devido à emissão da etiqueta Procel Edifica de projeto.

O atendimento dos subcritérios analisados é apresentado no Quadro 19, sendo possível observar que todos os subcritérios foram satisfatoriamente atendidos.

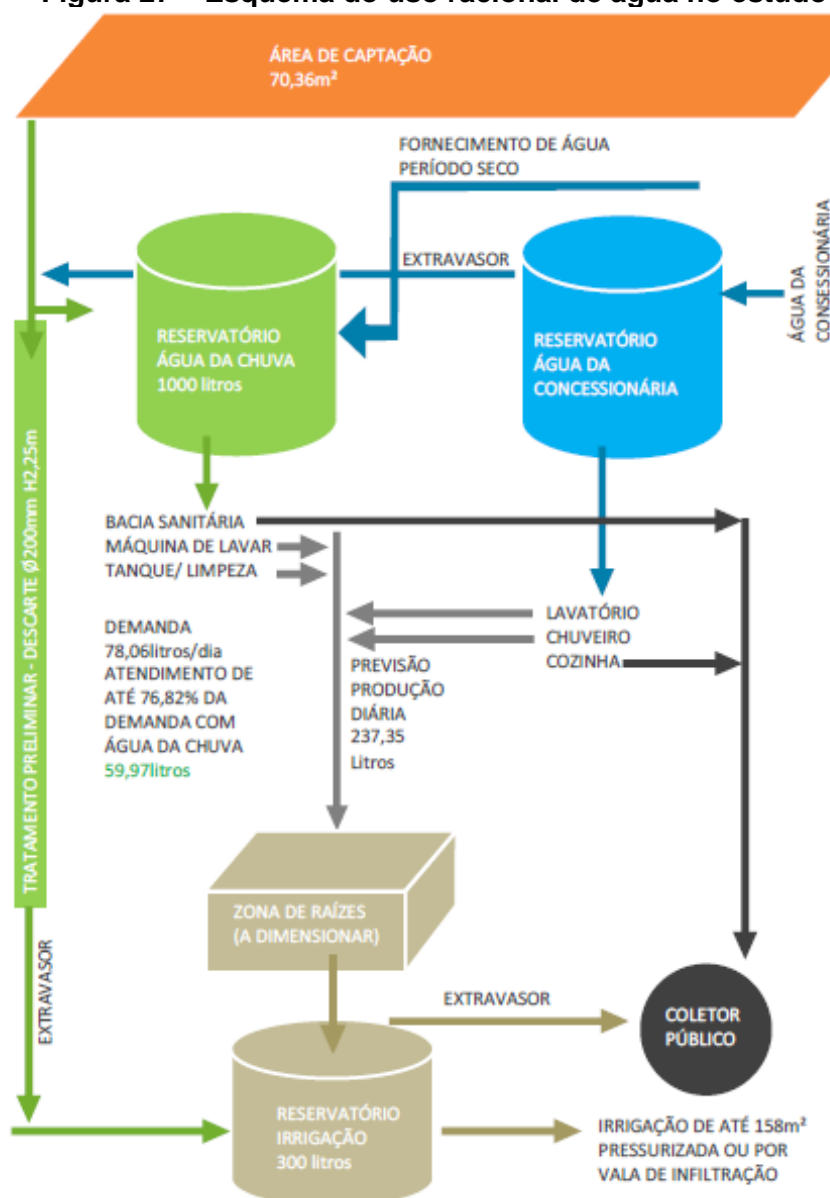
Quadro 19 - Resultado dos subcritérios da gestão de água

Subcritérios	Atendimento dos parâmetros
Perfil de consumo de água	
Gerenciamento de água de chuva	
Tratamento de água servida	
Área técnica	

 Atendimento aos parâmetros  Não atendimento aos parâmetros

Quanto ao perfil de consumo de água, a redução da demanda de uso de água utilizando os equipamentos economizadores foi de 38% em relação ao uso de equipamento normal (APÊNDICE E – MEMÓRIA DE CÁLCULO (ÁGUA)). Os dispositivos empregados foram: torneiras com arejador e hidromecânica (com fechamento automático e dispositivo economizador para torneiras 6L/min), chuveiro com restritor de vazão (chuveiro economizador 6L/minuto) e bacia sanitária com caixa acoplada e duplo acionamento.

Figura 27 – Esquema do uso racional de água no estudo de caso



Fonte: DANTAS (2015)

O abastecimento dos reservatórios de captação das águas de chuva pela concessionária só será efetuado em casos extremos que coincida com a falta de chuva. Em situações normais, os moradores evitarão a utilização da água da concessionária para irrigação e qualquer outro fim não potável.

Toda a área técnica necessária para o armazenamento (reservatórios) e para o tratamento (valas de infiltração, zona de raízes e sumidouros) da água foi dimensionada e inserida no terreno, conforme previsto como parâmetro deste subcritério.

5.6 Materiais construtivos

Os subcritérios analisados do item materiais construtivos são apresentados no Quadro 20, sendo possível observar que todos foram considerados em cada fase de projeto.

Quadro 20 - Subcritérios de materiais construtivos e as etapas do processo projetual

Subcritérios	PP	EP	AP
Escolha integrada dos sistemas construtivos	●	●	●
Racionalização / modulação	●	●	●
Adaptabilidade / durabilidade	●	●	●
Manutenção	●	●	●

PP: pré-projeto / EP: estudo preliminar / AP: anteprojeto

●: existente / ○: inexistente / -: nulo





Dentre as diretrizes estabelecidas na etapa de pré-projeto, o cliente solicitou o uso de madeira certificada, a racionalização dos materiais e sistemas construtivos, a possibilidade de reaproveitamento dos materiais e adaptação a novos usos. Outras características relacionadas aos materiais construtivos foram: fácil manutenção da estrutura e dos fechamentos através do emprego do sistema construtivo aparente; e disponibilidade de material e mão-de-obra no mercado local.

No estudo preliminar, a modulação foi aplicada no projeto arquitetônico determinada pela malha modular de 1,20x1,20m. Os materiais empregados foram principalmente a madeira (estrutura, piso e painéis de fechamento) e a telha metálica com isolamento térmico na cor clara (cobertura). Ainda nesta etapa, a fim de viabilizar a estrutura em madeira, buscou-se informações no mercado local como disponibilidade, dimensões, preço, prazo e forma de entrega dos materiais. O pré-dimensionamento dos sistemas construtivos (pilar-viga e fundação) foi considerado de forma a não haver desperdício.

No anteprojeto, após dificuldades no desenvolvimento do projeto de estruturas e de fundações, foram necessárias diversas adaptações referentes à compatibilização projetual. A meta inicial de uso de madeira certificada não foi possível ser atendida, por não existir esse tipo de produto disponível no mercado em Natal. Desta forma, foram identificadas espécies disponíveis no mercado local, que são viáveis técnica e financeiramente para sua substituição. Os demais objetivos propostos perduraram em todas as etapas do processo.

O atendimento dos subcritérios analisados é apresentado no Quadro 20, sendo possível observar os subcritérios que atingiram desempenho satisfatório ou não.

Quadro 21 - Resultado dos subcritérios de materiais construtivos

Subcritérios	Atendimento dos parâmetros
Escolha integrada dos sistemas construtivos	
Racionalização / modulação	
Adaptabilidade / durabilidade	
Manutenção	



Atendimento aos parâmetros



Não atendimento aos parâmetros

O subcritério de escolha integrada dos materiais não foi atendido pois a madeira utilizada na estrutura não apresentou selo ambiental. Ainda dentro desse subcritério, outros parâmetros foram considerados e atendidos, como a possibilidade de reciclagem e reuso do material e o emprego de material de rápida renovação.

Quanto a racionalização e modulação, em todas as etapas de projeto e na compatibilização dos projetos, foi sempre considerado o dimensionamento modular (1,20x1,20m) visando a racionalização dos materiais. Além disso, determinou-se a fixação das estruturas por conectores parafusados, assim como a utilização de estrutura e cobertura pré-fabricadas.

Com relação ao subcritério de adaptabilidade e durabilidade da edificação, foram utilizados painéis reaproveitáveis e removíveis, revestimentos de paredes e pisos com paginação compatível com a modulação proposta, pavimentação do passeio por pisos intertravados, fixação de esquadrias por parafusos e uso de forros removíveis.

A manutenção das instalações e sistema construtivos foi garantido e priorizado por meio da concepção de shafts, estrutura aparente e da elevação da edificação.

5.7 Síntese dos multicritérios

Neste subitem é apresentada a compilação dos resultados da aplicação do checklist no estudo de caso (Figura 28), com abordagem do atendimento dos parâmetros, da integração com o processo projetual e o estabelecimento de diretrizes e recomendações de projeto.

Figura 28 - Checklist aplicado à HabtØ clima quente e úmido

Categorias	CrITÉRIOS	SubcritÉRIOS	PP	EP	AP	Atendimento dos parâmetros
Conforto térmico	<i>Desempenho térmico</i>	Impacto da cor externa	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	↑
		Aberturas permeáveis	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	↑
		Áreas envidraçadas	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	↑
		Sombreamento das aberturas	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	↑
		Transmitância da envoltória	-	-	-	-
Conforto lumínico	<i>Desempenho lumínico natural</i>	Área de iluminação	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	↑
		Nível mínimo de iluminância	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	↑
		Disponibilidade de luz natural	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	↑
		Uniformidade da luz natural	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	↑
	<i>Desempenho lumínico artificial</i>	Nível mínimo de iluminância	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	-
		Densidade de potência instalada	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	↑
		Eficiência energética	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	↑
Gestão de energia	<i>Desempenho energético</i>	Perfil de consumo energético	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	↑
		Disponibilidade de área - PV	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	↑
		Disponibilidade de área - coletores solares	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	↑
		Disponibilidade de céu visível	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	↑
		Área técnica	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	↑
		Tipo de painel fotovoltaico	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	↑
		Tipo de coletor solar	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	↑
		Disponibilidade no mercado	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	↑
Gestão de água	<i>Condicionantes projetuais</i>	Perfil de consumo de água	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	↑
		Gerenciamento de água de chuva	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	↑
		Tratamento de água servida	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	↑
		Área técnica	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	↑
Materiais construtivos	<i>Condicionantes projetuais</i>	Escolha integrada dos sistemas construtivos	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	↓
		Racionalização / modulação	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	↑
		Adaptabilidade / durabilidade	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	↑
		Manutenção	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	↑



Atendimento aos parâmetros



Não atendimento aos parâmetros

Em todas as categorias, percebeu-se uma grande influência positiva nos resultados quando houve definição dos subcritérios nas primeiras fases projetuais. De modo que as metas, na maioria das categorias, perduraram durante todas as etapas de projeto. A fase de pré-projeto encontra-se como uma fase definidora, uma vez que não é possível a definição de oportunidades de melhorias no desempenho da

edificação sem a devida compreensão do pré-projeto (RODRIGUES, 2014). Outro fator, que contribuiu para que fossem atingidas as metas, foi o amplo conhecimento e a integração entre os profissionais que colaboraram de forma pontual ou contínua para o desenvolvimento do projeto, compartilhando os objetivos.

Devido à preparação da documentação visando a etiqueta do Procel Edifica na fase de projeto (ANEXO A – ENCE DE PROJETO), foram tomadas decisões a fim de possibilitar o atendimento dos requisitos estabelecidos pelos RTQ-R (BRASIL, 2012). Para tal, foram definidas marcas e modelos de equipamentos como: ventilador de teto, refrigerador, lâmpadas, e os equipamentos economizadores de água. Na etiquetagem deste estudo de caso foram avaliados a envoltória e o sistema de aquecimento de água, além das bonificações, como a iluminação natural e artificial, a ventilação natural e mecânica, o uso racional de água e o refrigerador.

Os pré-requisitos da envoltória são: transmitância térmica e absorvância solar; ventilação natural; e iluminação natural. Ainda na etapa de pré-projeto, a escolha da madeira e a preferência pela cor clara, apesar da falta de preocupação específica com o cálculo da transmitância térmica, foram determinantes no atendimento do pré-requisito obrigatório de transmitância térmica e absorvância solar. Quanto à ventilação e iluminação natural, a determinação da meta inicial na etapa de pré-projeto de ponderação das áreas de aberturas permeáveis e áreas envidraçadas, proporcionaram o atendimento desses pré-requisitos. O pré-requisito de aquecimento de água também foi definido na etapa de anteprojeto.

Os resultados das análises apontaram que são várias as possibilidades de obtenção de conforto térmico e luminoso na habitação, a partir da integração de soluções arquitetônicas com aplicação da simulação computacional. Quando o especialista trabalha como projetista, a simulação pode ser utilizada para confirmar o resultado esperado.

Na categoria de conforto térmico, a simulação computacional na fase de estudo preliminar permitiu uma verificação das estratégias de ventilação natural, iluminação natural e sombreamento pensadas pelos projetistas. Por fim, o anteprojeto investigou o refinamento das alternativas apontadas no estudo preliminar. O desempenho térmico satisfatório foi confirmado pelo atendimento de todos os parâmetros estabelecidos.

Para o conforto luminoso, que em alguns subcritérios atua de forma complementar ao conforto térmico devido à necessidade de equilíbrio entre

disponibilidade de luz natural (área envidraçada) e ventilação natural (área permeável), a aplicação de análises a partir das simulações computacionais serviu para constatar a adequação da solução arquitetônica proposta, algo que já era de conhecimento do especialista. Neste caso, entende-se que é mais comum que a análise seja realmente resolvida somente com a experiência do especialista.

Na maioria dos subcritérios do desempenho luminoso, houve atendimento dos parâmetros estabelecidos. No caso da confirmação do nível mínimo de iluminância referente à iluminação artificial, deveria ter sido aplicada ou o cálculo do método dos lúmens ou a simulação computacional do desempenho luminoso artificial.

As recomendações de projeto oriundas desta experiência, com vistas à categoria de conforto térmico e luminoso, são: estabelecimento de metas específicas e claras, aplicação de estratégias bioclimáticas adequadas ao clima local; participação de especialista em consultoria térmica e luminosa para respaldar as soluções propostas ainda nas etapas iniciais do projeto; e integração entre os projetistas e entre a equipe e o cliente.

As recomendações de projeto referentes à categoria de gestão de energia visam aspectos técnicos, como: escolha de painéis fotovoltaicos e coletores solares com melhor desempenho energético. Além disso, orientam sobre aspectos construtivos como a disponibilidade de áreas e estrutura de suporte necessária, e sobre condicionantes locais como: disponibilidade de céu visível, dos equipamentos e de mão-de-obra no mercado local. Entende-se que a participação da equipe de forma integrada é essencial para a realização de uma análise crítica dos condicionantes, equipamentos, sistemas e soluções relativas à categoria de energia da habitação.

O ciclo da água, na escala da habitação em estudo, foi inicialmente abordado pelo dimensionamento de forma racional e eficiente da demanda, através de um perfil de usuário que apresente um consumo reduzido (20 a 30% comparado com o consumo convencional). No estudo de caso, esta redução (38%) se deu através do uso de equipamento economizadores. A captação de água das chuvas, dando início ao ciclo da água, um potencial de até 76,82% de aproveitamento para determinados usos na habitação, representou uma economia de 14% (vaso sanitário, máquina de lavar roupa, tanque, jardim e limpeza).

Quanto à água tratada proveniente da concessionária, os efluentes gerados após seu uso pela máquina de lavar roupa, tanque, lavatório e chuveiro foram conduzidos ao sistema de tratamento (vala de infiltração, zona de raízes e

sumidouros), dimensionados e inseridos no próprio terreno. Os resíduos da pia da cozinha e vaso sanitário foram direcionados ao coletor público (Figura 27). Desta forma, apresenta-se o ciclo de água fechado na habitação em questão.

Ainda quanto à gestão de água, o estabelecimento de meta inicial específica, a participação de profissional consultor em racionalização do consumo de água, e integração entre o engenheiro responsável pelo projeto hidrossanitário e o consultor, assim como com toda a equipe, foram os aspectos mais relevantes do estudo de caso. De forma que as recomendações projetuais são: estabelecimento de metas específicas ao uso e conservação de água, participação de forma integrada de especialista ainda na etapa inicial do projeto e consideração de áreas técnicas que devem ser previstas no pré-projeto.

Foi identificado o maior entrave quanto à implementação dos critérios e na escolha de materiais construtivos. Alguns deles relacionados ao momento de inserção, e outros a fatores não aprofundados nesse estudo, como a viabilidade financeira.

Com relação à escolha dos materiais construtivos, enfatiza-se a limitação de profissionais experientes e qualificados no mercado local, para o desenvolvimento dos projetos de estrutura em madeira e de fundação adequados para este tipo de estrutura. Tais projetos devem ser dimensionados de forma a fazer uso de material suficiente para a função, sem implicar desperdício de material. O não alcance da meta referente ao uso de madeira certificada é outro limitante do mercado local, que não disponibiliza este tipo de garantia.

A recomendação projetual visando o melhor aproveitamento dos materiais construtivos são: ampla pesquisa de mercado local; adequação de forma criteriosa no caso de impossibilidade de encontrar madeira legalizada; uso de materiais locais com conteúdo reciclado e de rápida renovação; racionalização e modulação dos sistemas construtivos; escolha de materiais duráveis e que permitam a flexibilização da edificação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo demonstra que os critérios propostos foram suficientes para desenvolver um método multicritério de análise do impacto ambiental ao se conceber uma habitação visando o baixo impacto ambiental e a eficiência no consumo de energia e recursos naturais. Essa afirmação evidencia-se em diversos aspectos e critérios da habitação analisada, seja nas estratégias de conforto térmico, conforto luminoso, gestão de água, aplicação de materiais construtivos, eficiência energética e na geração de sua energia pelo aproveitamento do sol, uma fonte renovável e sem custo.

A análise dos multicritérios ocorreu em cada etapa de projeto, abordando os aspectos dos impactos a partir de dados, da análise das categorias e da avaliação de aplicações no estudo de caso, assim como o seu momento de inserção no processo projetual. Foi constatada que a incorporação dos multicritérios de análise, estabelecidos na fase pré-projetual, possibilitou a obtenção de um bom desempenho dos subcritérios de conforto térmico, luminoso, gestão de água e energia, além da escolha dos materiais construtivos, conforme os parâmetros previamente estabelecidos.

A avaliação do estudo de caso permitiu o reconhecimento das soluções aplicadas a uma habitação de baixo impacto ambiental no clima quente e úmido, desde que consideradas as especificidades do projeto e do processo projetual. Quanto ao projeto, as especificidades são: a) estratégias bioclimáticas passivas e ativas; b) características e propriedades dos materiais construtivos; c) uso eficiente da água e energia; e d) tecnologia de geração de energia renovável. Quanto ao processo projetual, as especificidades consideradas nesse estudo foram as estratégias de integração entre os membros e profissionais, assim como a gestão das atividades de forma integrada, resultado da reflexão sistêmica, conceituação e decisão prévia.

De forma específica neste estudo de caso, o cliente, por ser professor e especialista na área de conforto térmico e eficiência energética, influenciou e foi ponto chave na elaboração e viabilização da proposta.

De forma geral, os subcritérios existentes na etapa de pré-projeto são aqueles que remetem às estratégias bioclimáticas e ao partido arquitetônico, como a ventilação e iluminação natural, a eficiência energética, aproveitamento de água e as questões de modulação e manutenção atreladas aos materiais construtivos.

O rebatimento de cada escolha projetual permeia mais de uma categoria dos multicritérios propostos neste estudo. Um exemplo é o aproveitamento da água da chuva, para o qual são necessários: a definição das características da cobertura (tipo de telhado, caimento das águas, inclinação, orientação, etc.), que consequentemente interfere no desempenho térmico; o dimensionamento e locação dos reservatórios e demais áreas técnicas, que influenciam nos condicionantes projetuais da gestão de água; a ponderação da área de cobertura para coleta de água, painéis fotovoltaicos e coletor solar, verificando se haverá alguma interferência entre as funções da cobertura, podendo influenciar no desempenho energético. Outro exemplo são as características da habitação necessárias para a ventilação e iluminação natural, que são áreas permeáveis e áreas abertas ou envidraçadas, respectivamente, pois condicionam critérios referentes às categorias de conforto térmico, conforto luminoso e materiais construtivos.

Na fase de estudo preliminar, foi dada bastante ênfase aos subcritérios ligados às simulações a partir de técnicas computacionais, a fim de testar as possibilidades e comprovar o atendimento ou não dos objetivos do projeto. No anteprojeto foram concluídas as simulações, e feitos os ajustes finais de projeto, a partir das disciplinas complementares e das consultorias. Supõe-se que o grande número de subcritérios atendidos se deve à presença de especialistas, à experiência dos profissionais envolvidos e à integração no processo projetual. É importante salientar a definição de metas específicas para cada aspecto do projeto.

A inter-relação dos critérios contribui para a identificação dos entraves dos condicionantes projetuais. Como exemplo, problemas de ruído urbano e poluição podem prejudicar o uso de ventilação natural no projeto, mesmo que o partido arquitetônico, a ocupação e o clima sejam favoráveis à ela. No estudo de caso, o conflito entre o conforto acústico e a ventilação natural é amenizado pelo grande recuo entre os limites de lote e a habitação, assim como pelo tipo de ocupação, já que os horários de uso da escola e da quadra, vizinhos ao terreno, são diferentes do uso residencial.

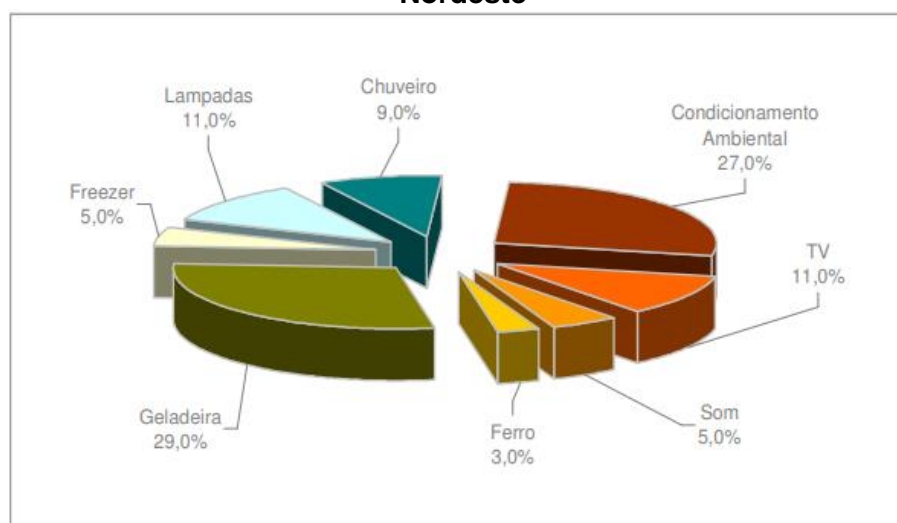
Considerando especificamente o conforto térmico, o melhor desempenho com relação ao parâmetro de percentual de horas de conforto foi o uso dos painéis de madeira (atendimento da transmitância) com absorvância à radiação solar de 30% na envoltória, abertura com tabicões – na parte de baixo da fachada Sul para entrada de

ar, e tabicões ao alto da fachada Norte para a saída de ar – com a integração de sombreamento horizontais nas aberturas.

As estratégias para melhorar o desempenho da iluminação (área de abertura envidraçada e sua localização na fachada), com relação ao parâmetro de disponibilidade e uniformidade de luz natural, garantiram o conforto luminoso do usuário. A área de abertura envidraçada correspondeu a 20% da área de fachada, e a 61% com relação à área de piso. Quanto ao uso de iluminação artificial, as características projetuais de densidade de potência por área (sala - $2,32\text{W/m}^2$ e quarto - $1,92\text{W/m}^2$) e eficiência energética da fonte luminosa (85lm/W) resultaram num ótimo desempenho.

Numa comparação entre o estudo de caso e os dados disponibilizados pelo PROCEL (Gráfico 1), referentes ao consumo de energia em residências no Nordeste, considerando apenas a substituição do chuveiro elétrico por aquecimento solar, a economia no consumo de energia poderia chegar a aproximadamente 9% do total.

Gráfico 1 - Participação dos eletrodomésticos no consumo residencial na região Nordeste



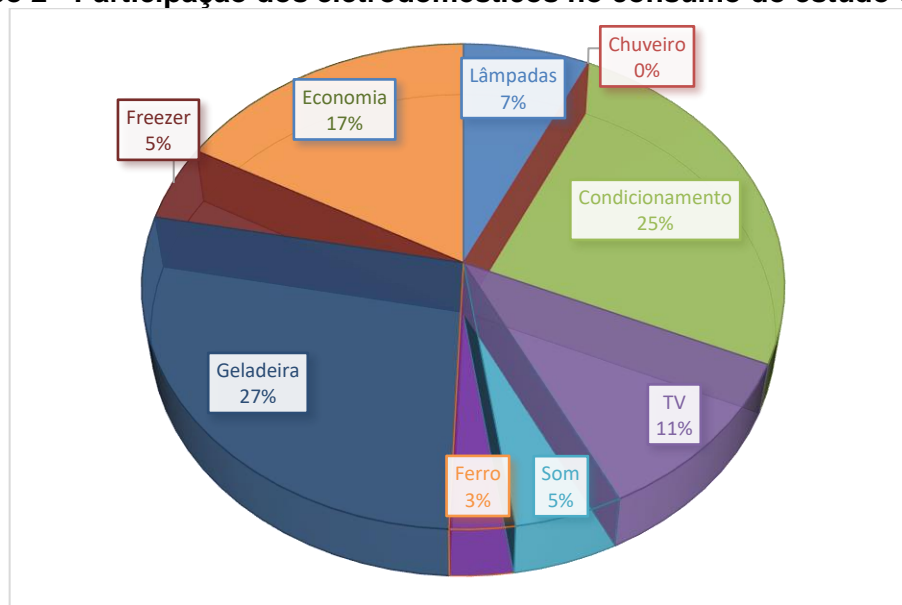
Fonte: PROCEL/Eletróbrás, 2007.

De acordo com o gráfico acima, é possível observar a significativa participação da geladeira e do condicionamento ambiental no consumo de energia das residências na região Nordeste do Brasil. Com relação ao condicionamento do ar, estratégias aplicadas no estudo de caso – adequada orientação solar, isolamento térmico da cobertura, transmitância térmica das paredes externas, otimização do aproveitamento de ventilação natural e sistemas de controle de radiação solar através de sombreamento – contribuíram para o conforto térmico sem o uso de condicionadores

de ar ou reduzindo o consumo desses aparelhos. Da mesma forma, a energia empregada para iluminação artificial foi reduzida consideravelmente devido ao adequado dimensionamento, integração e orientação das aberturas para otimizar o aproveitamento da luz natural, como também devido ao uso de sistema com lâmpada em LED, que possui alta eficiência e longa vida útil, reduzindo custos de consumo de eletricidade e manutenção do sistema. O uso de coletores solares para aquecimento de água é uma alternativa que pode reduzir o consumo de energia no Nordeste, tirando-se partido das condições e níveis favoráveis de irradiação solar ao longo do ano.

O Gráfico 2 mostra a redução calculada⁸ de 17% em energia elétrica, associada ao desempenho energético dos eletrodomésticos, comparado com modelos e usos convencionais.

Gráfico 2 - Participação dos eletrodomésticos no consumo do estudo de caso



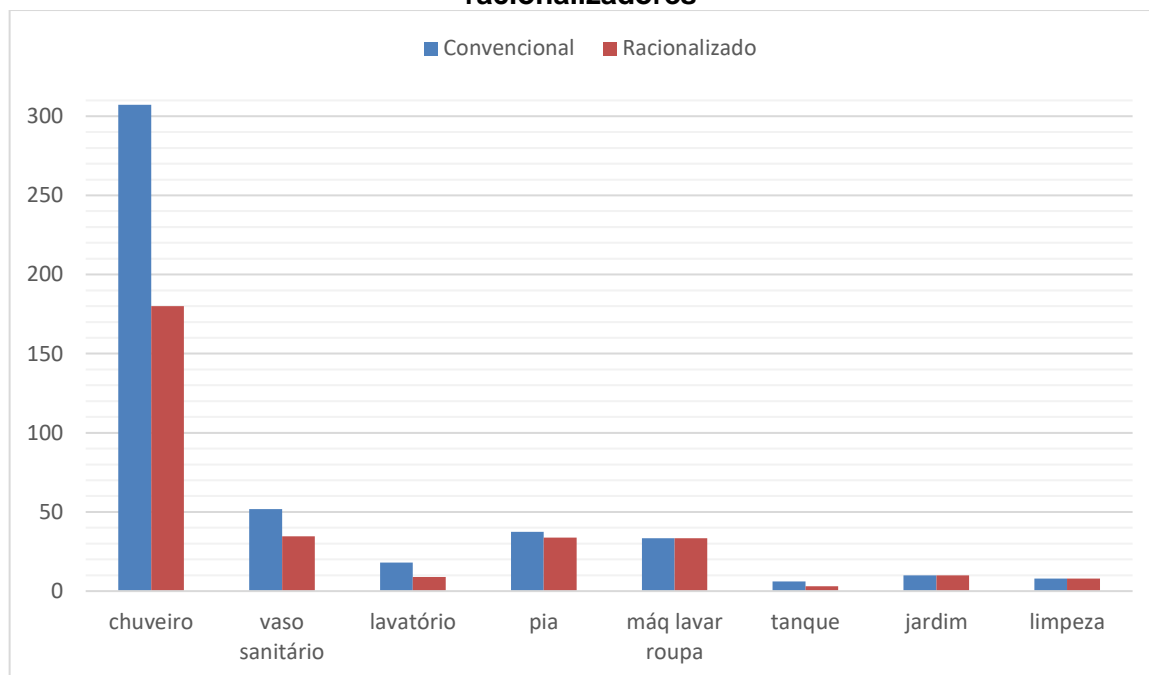
O uso do sistema fotovoltaico para geração de energia para cobrir 100% da demanda energética da habitação, implicou não apenas a geração de energia de forma distribuída por fonte limpa e renovável, mas também a redução de impacto ambiental, ao evitar o aumento da demanda da energia da concessionária.

No estudo de caso, as propostas para coleta de água da chuva, tratamento de efluentes e uso de equipamentos economizadores contribuem na questão da

⁸ No cálculo foram consideradas as reduções de consumo energético do chuveiro elétrico, iluminação artificial, refrigerador e ventilador de teto.

destinação adequada de resíduos domésticos e melhor aproveitamento de água potável, evitando ou reduzindo a necessidade de instalação de grandes redes e infraestrutura.

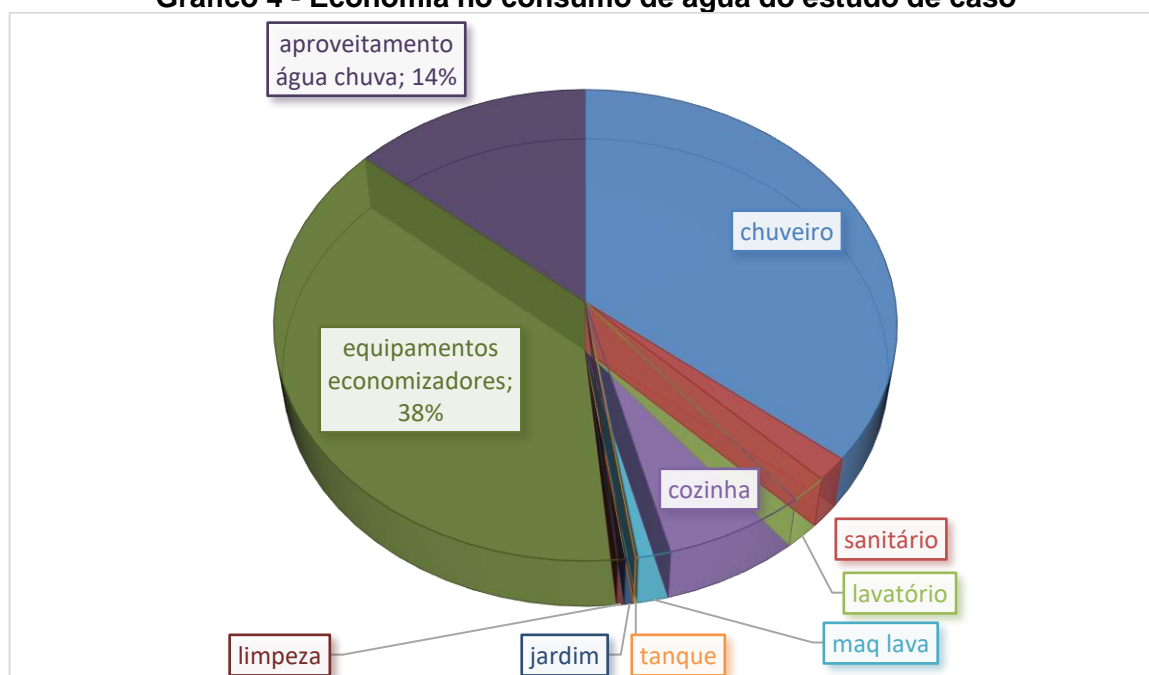
Gráfico 3 - Comparativo entre o consumo convencional e uso de equipamentos racionalizadores⁹



A redução da demanda de água potável utilizando os equipamentos economizadores (torneira com arejador, chuveiro com restritor de vazão e bacia sanitária com caixa acoplada e duplo acionamento) foi de 38% em relação ao uso de equipamento normal (Gráfico 3).

Já o aproveitamento de água da chuva serviu para a redução em 14% da demanda de água destinada à bacia sanitária, máquina de lavar roupa, torneira externa e tanque. A economia total de água demandada pela habitação foi de até 52% (Gráfico 4).

⁹ No cálculo foram considerados: bacia sanitária com caixa acoplada e duplo acionamento (3 e 6L), torneira de mesa fechamento automático, com dispositivo economizador para torneiras (6L/min), torneira de mesa com bica alta móvel com arejador para 6L/min e chuveiro economizador (6L/minuto).

Gráfico 4 - Economia no consumo de água do estudo de caso

A redução do impacto ambiental do estudo de caso, na abordagem dos materiais construtivos, foi evidenciada pela possibilidade de reuso de todos dos materiais empregados. Entretanto a quantificação dessa redução não foi possível devido ao caráter qualitativo do critério “materiais construtivos”. O baixo impacto atestado a partir do uso de madeira com selo ambiental não foi viabilizado no contexto local do estudo de caso.

Com vistas à difusão de práticas sustentáveis na arquitetura e desenvolvimento de habitações de baixo impacto ambiental na cidade de Natal/RN, o estudo reúne os conhecimentos e recursos que viabilizaram a concepção de uma habitação de baixo impacto ambiental. Serve também para demonstrar os vários aspectos de impacto ambiental no setor residencial, como a escolha de sistemas construtivos, o desempenho energético, o potencial de reuso e reciclabilidade, o impacto de sistemas eficientes, o uso racional dos recursos, o uso de sistemas construtivos leves pré-fabricados, dentre outros.

Sugestões para trabalhos futuros

As sugestões para futuras pesquisas são:

- Análise comparativa quantitativa com outros estudos de caso para ampliar o número de critérios e estabelecer níveis de intensidade dos critérios;
- Avaliação da estimativa do custo das soluções arquitetônicas;

- Comparação com sistemas construtivos convencionais quanto ao custo e benefício para Natal/RN;
- Avaliação do ciclo de vida da habitação;
- Análise do desempenho da habitação em outras fases como construção e comissionamento, operação (inicial), manutenção e pós-ocupação.

REFERÊNCIAS

ABNT. Desempenho térmico de edificações Parte 1: Definições, símbolos e unidades. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**,. Rio de Janeiro, NBR15220-1, 2005a.

_____. Desempenho térmico de edificações. Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**,. Rio de Janeiro, NBR15220-2, 2005b.

ABNT. **Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social - NBR 15220-3**. . RIO DE JANEIRO: ABNT. NBR15220-3: 30 p. 2005a.

_____. **Iluminação Natural Parte 1: conceitos básicos e definições**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15215-2 2005b.

_____. **Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Desempenho Parte 4: Sistemas de vedações verticais externas e internas. Parte 4: Sistemas de vedações verticais externas e internas**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas,. NBR15575-1:2008: 58 p. 2008.

_____. **Edificações Habitacionais — Desempenho, Parte 1: Requisitos gerais**. ABNT NBR 15575. . São Paulo: ABNT 2013a.

_____. **NBR ISO/CIE 8995-1: Iluminação de ambientes de trabalho**. Rio de Janeiro 2013b.

AIA. **Integrated Project Delivery: a working definition**. Washington. 2007

ANTONIO, F.; *et al.* **Análise energética e ambiental da contribuição de uma casa-solar para o desenvolvimento sustentável com base na redução de emissões de Gases de Efeito Estufa** (Relatório de pesquisa). RTC/PIRnaUSP nº 452. Disponível em: <http://seeds.usp.br/portal/uploads/RTC452_casasolar1_final.pdf>. São Paulo: FAU USP, :2013.

AUTODESK. **Ecotect Analysis**, versão 2011. Disponível em: <www.ecotect.com>. Acesso em: 20 de março 2016.

BITTENCOURT, L.; CÂNDIDO, C. **Ventilação Natural em Edificações** Rio de Janeiro: 2010.

BRASIL. **Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C)**. Portaria nº 18, de 16 de janeiro de 2012. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, I. E. C. E. Brasília: Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), 2010.

_____. **Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais (RTQ-R)**. Portaria nº 18, de 16 de janeiro de 2012. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, I. E. C. E. Brasília: Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), 2012.

_____. **Instrução Normativa nº 2, de 4 de Junho de 2014.** Dispõe sobre regras para uso da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) nos projetos e respectivas edificações públicas federais novas ou que recebam retrofit. Brasília: MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO 2014.

BROWN, G. Z.; DEKAY, M. **Sun, Wind and Light: Architectural Design Strategies.** 2nd. New York: John Wiley and Sons, 2001. Disponível em: < www.ecodesignresources.net >.

BRUNDTLAND, G. H. O. **Our Common Future: The World Commission on Environment and Development.** . Oxford University Press. . New York City, p. 398 p. 1987

BUSBY, P.; PERKINS; WILL. **Roadmap for the Integrated Design Process.** Vancouver. 2007

BUTERA, F. M.; ADHIKARI, R.; ASTE, N. **Sustainable building design for tropical climates: Principles and applications for Eastern Africa.** Nairobi: United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat), 2014. 421 ISBN 978-92-1-132644-4.

CARVALHO, J. P. V. **Simulação de desempenho luminoso para salas de aula em Natal-RN.** 2014. 229f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

CINTRA, M. S. **Arquitetura e luz natural: a influência da profundidade de ambientes em edificações residenciais.** 2011. 156 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) Universidade de Brasília, Brasília.

CORBELLA, O.; YANNAS, S. **Em Busca de uma Arquitetura Sustentável para os trópicos.** Rio de Janeiro: Ed. Revan, 2003.

DANTAS, P. M. **Relatório Estudo Consumo de Água Residência Pedrini.** 2015

DELAQUA, Victor. **Ekó House** – A casa brasileira no Solar Decathlon / Team Brasil. ArchiDaily, 2012. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/01-71342/eko-house-a-casa-brasileira-no-solar-decathlon-team-brasil>. Acesso em: 08 out. 2016.

DESIGNBUILDER SOFTWARE, L., Ed. **DesignBuilder 1.2 User Manual**, p.363ed. 2006.

DIAS, A. R. D. **Análise do sombreamento vegetal no conforto termo-luminoso de edificações no clima quente e úmido** 2016. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

DIDONÉ, E. L.; PEREIRA, F. O. R. Simulação computacional integrada para a consideração da luz natural na avaliação do desempenho energético de edificações. **Ambiente Construído**, v. 10, n. 4, p. p. 139-154, out./dez. 2010 2010. ISSN 1678-8621

EDWARDS, B. **Guía básica de la sostenibilidad.** . Barcelona: Gustavo Gili, 2004.

FRANÇA, J. M.; CRUCINSKY, V. M. P. **Conceitos de bioclimatologia e sustentabilidade aplicados ao projeto arquitetônico residencial e avaliação do conforto térmico e lumínico da edificação.** 2010. 233 Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção Civil) Engenharia de Produção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba.

GBCBRASIL. **Referencial GBC Brasil Casa. GUIA RÁPIDO:** GBC Brasil. Edição 2014: 112 p. 2014.

GIVONI, B. **Man, climate and architecture.** 2nd. London: Applied Science Publishers, 1976. xvi, 483 p ISBN 085334678X 0853341087 (pbk).

_____. Comfort Climate Analysis and Building Design Guidelines. **Energy and Buildings**, v. 18, n. 1, p. 11-23, 1992.

GONZALEZ, F. J. N. **Arquitectura Bioclimática en un entorno sostenible.** Ed. Munilla-Leria, 2004. 443 f. ISBN 978-84-89150-64-5.

GOOGLE. Google Earth. 2016. Acesso em: fevereiro 2015.

_____. Google SketchUp, versão 8.0. Disponível em: <<http://www.sketchup.com>>. Acesso em: Ago. 2015.

GU, L. **Airflow Network Modeling in EnergyPlus.** 10th International Building Performance Simulation Association Conference and Exhibition on September 3-6. Beijing, China 2007.

HOLANDA, A. **Roteiro para construir no Nordeste.** Recife: Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Urbano da Faculdade de Arquitetura, UFPE, 1976.

INMETRO. **Regulamento técnico da qualidade para o nível de eficiência energética edificações residenciais. ANEXO DA PORTARIA INMETRO Nº 449/2010.** Rio de Janeiro: 134 p. 2010.

KANTERS, J.; HORVAT, M. The design process known as IDP: a discussion. **Energy Procedia**, v. 30, p. 1153 – 1162, 2012. ISSN 1876-6102.

KOVACIC, I.; MÜLLER, C. Challenges for the Implementation of Integrated Design in the Planning Practice. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 119, p. 529 – 538, 2014. ISSN 1877-0428.

LAMBERTS, R.; CÂNDIDO, C.; DEAR, R. D.; VECCHI, R. D. **Towards a Brazilian Standard on Thermal Comfort. Research Report.** Florianópolis: 123p. p. 2013.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura.** 3ª. São Paulo: ProLivros, 2014. 192.

LARSSON, N. **The Integrated Design Process**. Buildings Group, CETC, Natural Resources Canada, Canada Mortgage and Housing Corporation, Enbridge Consumers Gas. Toronto. 2002

_____. **Solar low energy buildings and the integrated design process: an introduction**. Rotterdam. 2003

LIMA, B. W. F. **O Futuro da Energia no Brasil**. <http://www.ecocasa.com.br/O-Futuro-da-Energia-no-Brasil-Bruno-Wilmer-Fontes-Lima.pdf>: ECOCASA Tecnologias Ambientais 2012.

LIMA, M. A. **The Development of bioclimatic design**. 1995. 279 p. Thesis (PhD) School of Geography, Planning & Env Management, The University of Queensland, Queensland.

LIMA, R. V. D. S. **Modos projetuais de simulação: Uso de ferramentas de simulação térmica no processo projetual de arquitetura**. 2012. 256 f. Tese (Doutorado em Conforto no Ambiente Construído; Forma Urbana e Habitação) Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

LÖHNERT, G.; DALKOWSKI, A.; SUTTER, W. **Integrated Design Process: a guideline for sustainable and solar-optimised building design**. International Energy Agency. 2003

MARSH, A. **SUNTOOL v1.10 - Window Shading and Overshadowing**. Perth (Australia) 2001.

MCDONOUGH, W. B., M. **Cradle to cradle: remaking the way we make things**. New York: North Pint Press, 2002.

NEGREIROS, B. D. A. **Análise de métodos de predição de desempenho térmico de habitação em clima quente-úmido com condicionamento passivo**. 2010. Dissertação (Mestrado em Conforto no Ambiente Construído; Forma Urbana e Habitação) Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

OLGYAY, A.; OLGAYAY, V. **Solar control & shading devices**. Princeton: Princeton University Press, 1957. 201p.

OLGYAY, V. **Design with climate : bioclimatic approach to architectural regionalism**. Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1963. 190.

OLIVEIRA, A. G. D. **Proposta de método para avaliação do desempenho térmico de residências unifamiliares em clima quente-úmido**. 2006. 201 f. Dissertação (Mestrado em Conforto no Ambiente Construído; Forma Urbana e Habitação) Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

OLIVEIRA, B. L. F. D. **Edificações de baixo impacto ambiental em madeira para o clima quente úmido**. 2016. 130 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

PACHECO, G. H. S. **Determinação de recomendações bioclimáticas para habitação de interesse social de quatro climas do Rio Grande do Norte**. 2016. 131 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO DE 19 DE MAIO DE 2010 (2010). **Diretiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de Maio de 2010 relativa ao desempenho energético dos edifícios** (reformulação). Estrasburgo, Jornal Oficial da União Europeia

PEDRINI, A. **Integration of low energy strategies to the early stages of design process of office buildings in warm climate**. 2003. 300 f. Thesis (Ph.D. in Architecture) Department of Architecture, University of Queensland, Brisbane.

PINTO, C. F. **Em Busca de uma Arquitetura Sustentável: O Uso de fontes alternativas de energia**. 2009. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

PROCEL/ELETOBRAS. **Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de usos no Nordeste**: Ano base 2005. Rio de Janeiro, 2007.

PROJETEEE. Quais as soluções para um PROJETO DE EDIFÍCIO EFICIENTE na sua cidade? , <http://150.162.76.139/index.php>, 2014. Acesso em: 27.06.2017.

REINHART, C. F. **Tutorial on the Use of Daysim Simulations for Sustainable Design**. Ottawa: Institute for research in Construction National Research Council Canada, 2006.

REINHART, C. F.; MARDALJEVIC, J.; ROGERS, Z. Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building Design. **Leukos**, v. 3, n. 1, p. 7-31, july/2006 2006.

RODRIGUES, C. O. D. M. **Integração da simulação termo-energética com o processo de projeto: A análise de 6 casos**. 2014. 127 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

RORIZ, M. **Base de dados climáticos de 411 municípios brasileiros**. Disponível em: < http://www.roriz.eng.br/epw_9.html >. São Carlos - SP: RORIZ ENGENHARIA BIOCLIMÁTICA, 2014.

ROSA, A. S. D. **Determinação de modelos de referência de habitações populares unifamiliares para Florianópolis através de análise de agrupamento**. 2014. 198 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SALGADO, M. S.; CHATELET, A.; FERNANDEZ, P. Produção de edificações sustentáveis: desafios e alternativas. **Ambiente Construído**, v. 12, n. 4, p. p. 81-99, out./dez 2012. ISSN 1678-8621.

SANTOS, A. S. R. D. Desperdício de Água. **Programa Ambiental: A última Arca de Noé**, 2016. Disponível em: < <http://ultimaarcadenoe.com.br/agua.htm> >. Acesso em: novembro.

SILVA, M. M. G. **El clima y su influencia en el diseño urbano y arquitectónico – Natal/Rio Grande do Norte/Brasil**. 2012. 24 f. Trabalho Final de Máster (Máster en Eficiencia Energética y Arquitectura Bioclimática) Universidad Camilo Jose Cela, Madrid.

SILVA, M. M. G.; RODRIGUES, C. O. D. M.; RUCK, A.; PACHECO, G. H. D. S.; OLIVEIRA, R. **Habt0, projeto de habitação tropical de energia zero**. Natal: LabCon 2014.

SILVA, V. G. E. A. **Avaliação do desempenho ambiental de edifícios: Estágio atual e perspectiva para desenvolvimento no Brasil**. . In: Encontro Nacional, 2 and Encontro L. Americano sobre edificações e comunidades sustentáveis. Canela, RS: ANTAC. 1 2001.

SOBREIRA, F. J. A. G., E. ; GUERRA, J. ; VAZ, S.; MAIA, V.; OLIVEIRA, L. **Sustentabilidade em Edificações Públicas: Entraves e Perspectivas**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente 2007.

SPAGNOLO, J.; DE DEAR, R. A field study of thermal comfort in outdoor and semi-outdoor environments in subtropical Sydney Australia. **Building and Environment**, v. 38, n. 5, p. 721-738, MAY 2003. Disponível em: < <Go to ISI>://000181570400010 >.

SZOKOLAY, S. V. **Introduction to Architectural Science: The Basis of Sustainable Design**. Bullington, Great Britain: Architectural Press, 2004. 328 ISBN 0750658495.

TRIANA, M. A. **Diretrizes para incorporar conceitos de sustentabilidade no planejamento e projeto de arquitetura residencial multifamiliar e comercial em Florianópolis**. 2005. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) Universidade Federal de Santa Catarina Florianópolis.

VIANNA, N. S.; GONÇALVES, J. C. S. **Iluminação e Arquitetura**. São Paulo: Virtus s/c Ltda, 2001.

WONG, N. H.; LI, S. A study of the effectiveness of passive climate control in naturally ventilated residential buildings in Singapore. **Buildings and Environment**, 2007.

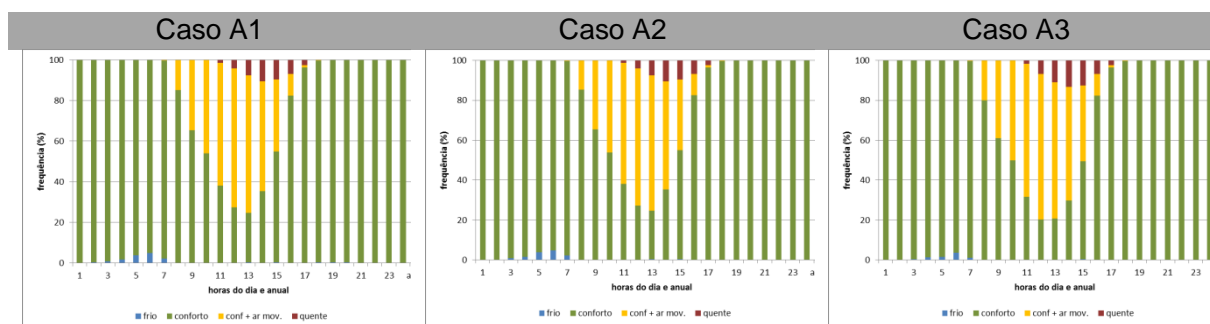
APÊNDICE A – DESEMPENHO TÉRMICO

RESULTADOS: análise da cor externa

Conforto Adaptativo

modelo	αparede	permeabilidade	frio	conforto	conf ar mov.	quente
Clima			1%	83%	11%	1%
Caso A1	30%	Venezianas N,S e janelas N,S,O	1%	82%	13%	1%
Caso A2	50%	Venezianas N,S e janelas N,S,O	0%	77%	18%	2%
Caso A3	70%	Venezianas N,S e janelas N,S,O	0%	73%	20%	4%

Gráficos

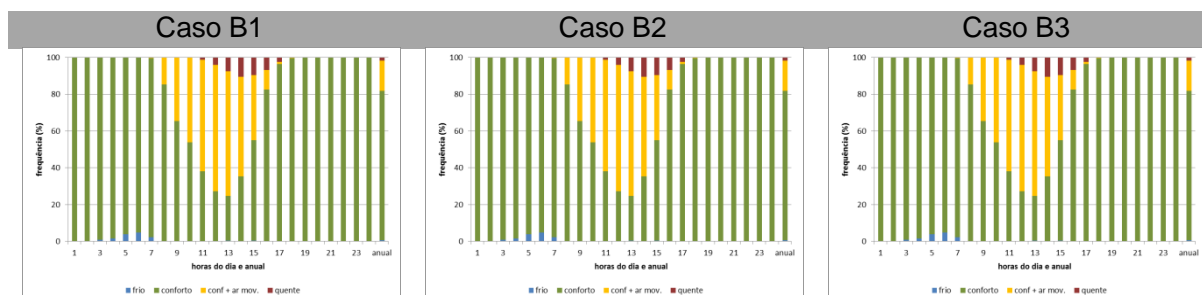


RESULTADOS: análise das aberturas permeáveis

Conforto Adaptativo

modelo	permeabilidade	frio	conforto	conf ar mov.	quente
Clima		1%	83%	11%	1%
Caso B1	Tabicões embaixo na S e em cima na N	1%	83%	12%	1%
Caso B2	Tabicões em todas as faces	1%	82%	12%	1%
Caso B3	Tabicões dobrados	1%	82%	12%	1%

Gráficos

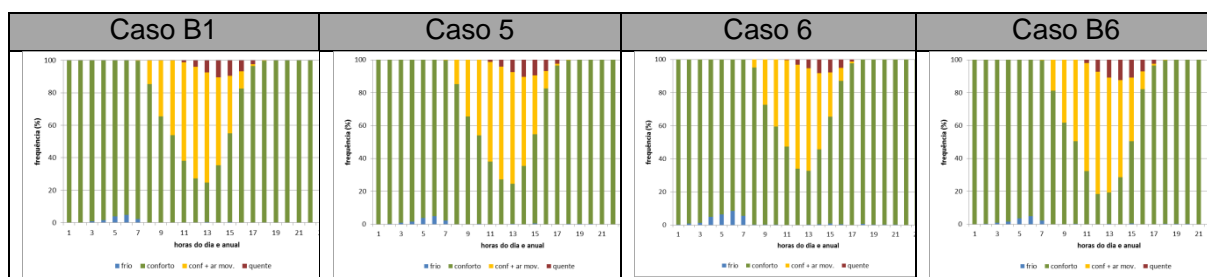


RESULTADO: análise das áreas envidraçadas

Conforto Adaptativo

modelo	permeabilidade	frio	conforto	conf ar mov.	quente
Clima	-	1%	83%	11%	1%
Caso B1	Tabicões embaixo na S e em cima na N	1%	83%	12%	1%
Caso B4	100% de área de ventilação efetiva	1%	81%	14%	1%
Caso B5	50% de área de ventilação efetiva	1%	81%	14%	1%
Caso B6	aumentar as áreas envidraçadas	1%	77%	17%	2%

Gráficos

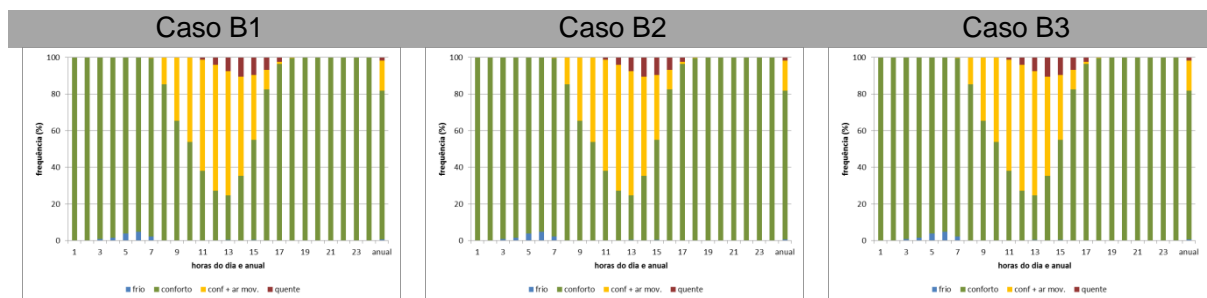


RESULTADOS: análise das aberturas permeáveis

Conforto Adaptativo

modelo	permeabilidade	frio	conforto	conf ar mov.	quente
Clima	-	1%	83%	11%	1%
Caso B1	Tabicões embaixo na S e em cima na N	1%	83%	12%	1%
Caso B2	Tabicões em todas as faces	1%	82%	12%	1%
Caso B3	Tabicões dobrados	1%	82%	12%	1%

Gráficos

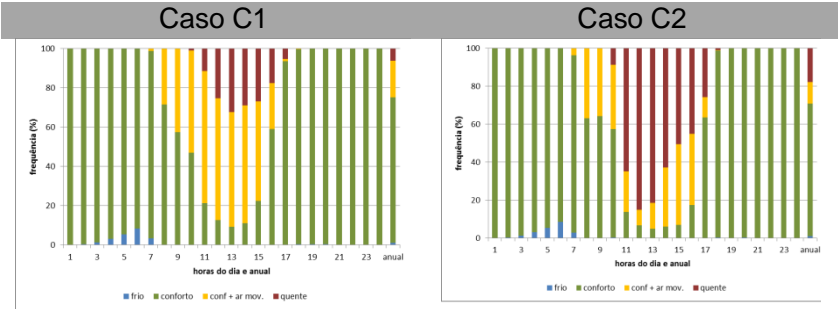


RESULTADOS: análise dos sombreamentos

Conforto Adaptativo

modelo	sombreamento	frio	conforto	conf ar mov.	quente
Clima		1%	83%	11%	1%
Caso C1	Sem sombreamento	1%	72%	19%	5%
Caso C2	Sem proteção e sem ventilação	1%	67%	13%	16%

Gráficos



APÊNDICE B – CHECKLIST DOS MULTICRITÉRIOS

Categorias	Critérios	Subcritérios	PP	EP	AP
Conforto térmico	<i>Desempenho térmico</i>	Impacto da cor externa			
		Aberturas permeáveis			
		Áreas envidraçadas			
		Sombreamento das aberturas			
		Transmitância da envoltória			
Conforto luminico	<i>Desempenho lumínico natural</i>	Área de iluminação			
		Nível mínimo de iluminância			
		Disponibilidade de luz natural			
		Uniformidade da luz natural			
	<i>Desempenho lumínico artificial</i>	Nível mínimo de iluminância			
		Rotina de uso			
Gestão de energia	<i>Desempenho energético</i>	Densidade de potência instalada			
		Perfil de consumo energético			
		Disponibilidade de área para painéis fotovoltaicos			
		Disponibilidade de área para coletores solares			
		Disponibilidade de céu visível			
		Área técnica			
		Tipo de painel fotovoltaico			
		Tipo de coletor solar			
Gestão de água	<i>Condicionantes projetuais</i>	Disponibilidade no mercado			
		Perfil de consumo de água			
		Disponibilidade de água de chuva			
		Gerenciamento de água de chuva			
		Tratamento de água servida			
Materiais construtivos	<i>Condicionantes projetuais</i>	Área técnica			
		Escolha integrada dos sistemas construtivos			
		Racionalização / modulação			
		Adaptabilidade / durabilidade			
		Manutenção			

PP: pré-projeto / EP: estudo preliminar / AP: anteprojeto

APÊNDICE C – SISTEMA AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA

Pré-dimensionamento

Os parâmetros adotados no dimensionamento do sistema de aquecimento solar de água da residência são apresentados a seguir:

- aquecedor solar destinado a atender demanda de água para banho e cozinha;
- dois moradores;
- temperatura de uso da água para banho de 38 °C;
- temperatura de armazenamento no reservatório térmico de 50 °C;
- temperatura ambiente média de 26 °C;
- temperatura de água fria de 24 °C;
- 2 coletores solares Bosch Termotecnologia FCC-1S planos com dutos de cobre e cobertura de vidro, área útil por placa de 1,00 m², fator de eficiência óptica 0,719, coeficiente global de perdas de 4,118 W/(m².K), Ence A, Selo Procel (ANEXO B – TABELA DO INMETRO DE COLETORES SOLARES). Posicionamento dos coletores solares: voltados para o norte geográfico com inclinação igual à latitude local acrescida de 10°; e
- Reservatório térmico Bosch Termotecnologia marca Heliotek, modelo MKP200, com revestimento de aço inox e isolamento de poliuretano, volume de 200 L, resistência elétrica de 2.500 W, Selo Procel (ANEXO C – TABELA DO INMETRO DE RESERVATÓRIOS TÉRMICOS). Controle de acionamento da resistência elétrica: desliga quando a temperatura da água atinge 50 °C e liga quando a temperatura chega a 45 °C.



Análise do Sistema de Aquecimento Solar de Água RTQ - Edificações Residenciais

Pessoas/dormitório	2	<i>peessoas</i>
N_{total} pessoas na edificação	2	<i>peessoas</i>
Volume/pessoa/dia	55	<i>litros/pessoa/dia</i>
V_{consumo}	110	<i>litros/dia</i>
T_{consumo}	38	<i>°C</i>
T_{armaz}	50	<i>°C</i>
T_{ambiente}	26	<i>°C</i>
V_{armaz}	55	<i>litros</i>
V_{água armazenada}	200	<i>litros</i>

Mês	N (dias/mês)	T_{AF} (°C)	DE_{mês} (kWh/mês)
Jan	31	24,0	55,38
Fev	28	24	50,02
Mar	31	24	55,38
Abr	30	24	53,59
Mai	31	24	55,38
Jun	30	24	53,59
Jul	31	24	55,38
Ago	31	24	55,38
Set	30	24	53,59
Out	31	24	55,38
Nov	30	24	53,59
Dez	31	24	55,38

$$DE_{mês} = Q_{dia} \times N \times (T_{ACS} - T_{AF}) \times 1,16 \times 10^{-3}$$

<i>Mês</i>	<i>N</i> (dias/mês)	<i>H_{dia}</i> (kWh/(m²xdia))	<i>EI_{mês}</i> (kWh/m²)
<i>Jan</i>	31	5,4	167,40
<i>Fev</i>	28	5,4	151,20
<i>Mar</i>	31	5,4	167,40
<i>Abr</i>	30	5,4	162,00
<i>Mai</i>	31	5,4	167,40
<i>Jun</i>	30	5,4	162,00
<i>Jul</i>	31	5,4	167,40
<i>Ago</i>	31	5,4	167,40
<i>Set</i>	30	5,4	162,00
<i>Out</i>	31	5,4	167,40
<i>Nov</i>	30	5,4	162,00
<i>Dez</i>	31	5,4	167,40

$$EI_{mês} = H_{dia} \times N$$

FR (τα)n	0,719
$\frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n}$	0,96
$\frac{F_R}{F_R}$	0,95
F'R (τα)	0,655728
Área disponível	2
Área do coletor	2
Nº coletores	1
S_c	2

adimensional

m²

m²

m²

$$F'_R(\tau\alpha) = F_R(\tau\alpha)_n \times \left[\frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n} \right] \times \frac{F'_R}{F_R}$$

Mês	$DE_{mês}$ (kWh/mês)	$EI_{mês}$ (kWh/m²)	$EA_{mês}$ (kWh/mês)	D_1
Jan	55,38	167,40	219,54	3,9643206
Fev	50,02	151,20	198,29	3,9643206
Mar	55,38	167,40	219,54	3,9643206
Abr	53,59	162,00	212,46	3,9643206
Mai	55,38	167,40	219,54	3,9643206
Jun	53,59	162,00	212,46	3,9643206
Jul	55,38	167,40	219,54	3,9643206
Ago	55,38	167,40	219,54	3,9643206
Set	53,59	162,00	212,46	3,9643206
Out	55,38	167,40	219,54	3,9643206
Nov	53,59	162,00	212,46	3,9643206
Dez	55,38	167,40	219,54	3,9643206

$$EA_{mês} = S_c \times F'_R(\tau\alpha) \times EI_{mês}$$

$$D_1 = \frac{EA_{mês}}{DE_{mês}}$$

652,04

$F_R U_L$	4,118
$\frac{F'_R}{F_R}$	0,95
$F'_R U_L$	0,0039121

W/(m².K)

$$F'_R U_L = F_R U_L \times \frac{F'_R}{F_R} \times 10^{-3}$$

S_c	2
V água armazenada	200
T_{ACS}	38
$FR(\tau\alpha)_n$	0,719
$F'_R(\tau\alpha)$	0,655728

m²

litros

°C

Mês	$DE_{mês}$ (kWh)	T_{AMB} (°C)	T_{AF} (°C)	Δt (horas)	K_1	K_2	$EP_{mês}$ (kWh)	D_2
Jan	55,38	26,0	24,0	744	0,930604859	1,199459459	480,83	8,682705768
Fev	50,02	26,0	24,0	672	0,930604859	1,199459459	434,30	8,682705768
Mar	55,38	26,0	24,0	744	0,930604859	1,199459459	480,83	8,682705768
Abr	53,59	26,0	24,0	720	0,930604859	1,199459459	465,32	8,682705768
Mai	55,38	26,0	24,0	744	0,930604859	1,199459459	480,83	8,682705768
Jun	53,59	26,0	24,0	720	0,930604859	1,199459459	465,32	8,682705768
Jul	55,38	26,0	24,0	744	0,930604859	1,199459459	480,83	8,682705768
Ago	55,38	26,0	24,0	744	0,930604859	1,199459459	480,83	8,682705768
Set	53,59	26,0	24,0	720	0,930604859	1,199459459	465,32	8,682705768
Out	55,38	26,0	24,0	744	0,930604859	1,199459459	480,83	8,682705768
Nov	53,59	26,0	24,0	720	0,930604859	1,199459459	465,32	8,682705768
Dez	55,38	26,0	24,0	744	0,930604859	1,199459459	480,83	8,682705768

$$K_1 = \left[\frac{V}{75 \times S_c} \right]^{-0,25}$$

$$K_2 = \frac{(11,6 + 1,18 T_{AC} + 3,86 T_{AF} - 2,32 T_{AMB})}{(100 - T_{AMB})}$$

$$EP_{mês} = S_c \times F'_R U_L \times (100 - T_{AMB}) \times \Delta T \times K_1 \times K_2$$

$$D_2 = \frac{EP_{mês}}{DE_{mês}}$$

Mês	D_1	D_2	f
Jan	3,964320645	8,682705768	1,139736966
Fev	3,964320645	8,682705768	1,139736966
Mar	3,964320645	8,682705768	1,139736966
Abr	3,964320645	8,682705768	1,139736966
Mai	3,964320645	8,682705768	1,139736966
Jun	3,964320645	8,682705768	1,139736966
Jul	3,964320645	8,682705768	1,139736966
Ago	3,964320645	8,682705768	1,139736966
Set	3,964320645	8,682705768	1,139736966
Out	3,964320645	8,682705768	1,139736966
Nov	3,964320645	8,682705768	1,139736966
Dez	3,964320645	8,682705768	1,139736966

$$D_1 = \frac{EA_{mês}}{DE_{mês}}$$

$$D_2 = \frac{EP_{mês}}{DE_{mês}}$$

$$f = 1,029D_1 - 0,065D_2 - 0,245(D_1)^2 + 0,0018(D_2)^2 + 0,0215(D_1)^3$$

Mês	$DE_{mês}$ (kWh)	f	$EU_{mês}$ (kWh)
Jan	55,38	1,139736966	63,12
Fev	50,02	1,139736966	57,01
Mar	55,38	1,139736966	63,12
Abr	53,59	1,139736966	61,08
Mai	55,38	1,139736966	63,12
Jun	53,59	1,139736966	61,08
Jul	55,38	1,139736966	63,12
Ago	55,38	1,139736966	63,12
Set	53,59	1,139736966	61,08
Out	55,38	1,139736966	63,12
Nov	53,59	1,139736966	61,08
Dez	55,38	1,139736966	63,12
TOTAL	652,04		743,15

$$EU_{mês} = f \times DE_{mês}$$

F	1,139736966
Fração solar anual	113,97%

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{12} EU_{mês}}{\sum_{i=1}^{12} DE_{mês}}$$

Verificação do volume de armazenamento do projeto	
V_{armaz}	200
Nº coletores	1
Área do coletor	2
Área de coletores	2 m^2
$V_{armaz}/\text{área}_{\text{coletores}}$	100,00

Layout sugerido do coletor solar: APÊNDICE G – PAINÉIS FOTOVOLTAICOS
E COLETOR SOLAR

APÊNDICE D – SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA

Pré-dimensionamento

No dimensionamento do sistema de geração fotovoltaica de energia foram consideradas as seguintes variáveis: uso residencial e demanda energética (DPI e equipamentos).

1.1. Condicionantes projetuais:

Área total de cobertura – 71,39m²

Dimensionamento do Sistema fotovoltaico Grid-tie:

- Consideraremos o mês de 30 dias
- $C_m = 250$ kwh (média do consumo mensal)
- O painel escolhido foi de $P_{np} = 270$ w (pot. nominal do painel) ANEXO B – CATÁLOGO FABRICANTE DO PAINEL FOTOVOLTAICO.

1.2. Cálculo do número de painéis:

Para calcular o número de painéis que serão utilizados vamos usar a seguinte fórmula:

$$E_D = E_s \times A_p \times \eta_p \times T_D$$

onde: E_D (Energia diária produzida)

E_s (Energia Solar – irradiação local)

A_p (Área do painel)

η_p (Rendimento do painel)

T_D (Taxa de desempenho)

Considerando:

- $E_s = 5,45$ kwh/m² por dia
- $T_D = 85$ % (incluindo perdas do inversor)
- $P_{np} = 270$ w (potência nominal do painel)
- $C_m = 250$ kwh (média do consumo mensal)
- Mês de 30 dias

Área de cada painel:

- $A_p = \text{largura} \times \text{altura}$
- $A_p = 992 \times 1640$
- $A_p = 1,63$ m²

Rendimento:

- $\eta_p = P_n / A_p \times 1000$ (radiação solar recebida pela Terra em w/m²)

- $\eta_P = 0,1656$

A partir dos dados acima, tem-se o cálculo da energia diária produzida:

- $E_D = E_S \times A_P \times \eta_P \times T_D$
- $E_D = 5,45 \times 1,63 \times 0,1656 \times 0,85$
- $E_D = 1,25$ kwh por dia

Cada painel produzirá 1,25 kwh por dia. Sabendo que C_m é igual a 250 Kwh, o consumo diário corresponde à:

- Consumo diário: $C_d = 250 / 30 = 8,33$ Kwh por dia

Número de painéis utilizados:

- $N_p = C_d / E_d$
- $N_p = 8,33 / 1,25 = 6,66$ (por segurança deve ser colocado 7 painéis).
- Tipo de sistema – Axitec AC-270M/156-60S (Potência na condição padrão = 270w)

Layout sugerido dos painéis fotovoltaicos: APÊNDICE G – PAINÉIS FOTOVOLTAICOS E COLETOR SOLAR

APÊNDICE E – MEMÓRIA DE CÁLCULO (ÁGUA)

MEMÓRIA DE CÁLCULO DE ECONOMIA DE ÁGUA

O cálculo de economia foi realizado conforme demonstrado a seguir.

1.1. Estimativa da população da edificação:

2 moradores

1.2. Consumo diário considerando equipamentos convencionais

O consumo total de água da habitação calculado foi de 501,85 litros por dia.

Figura 29 - Estimativa de consumo de água convencional

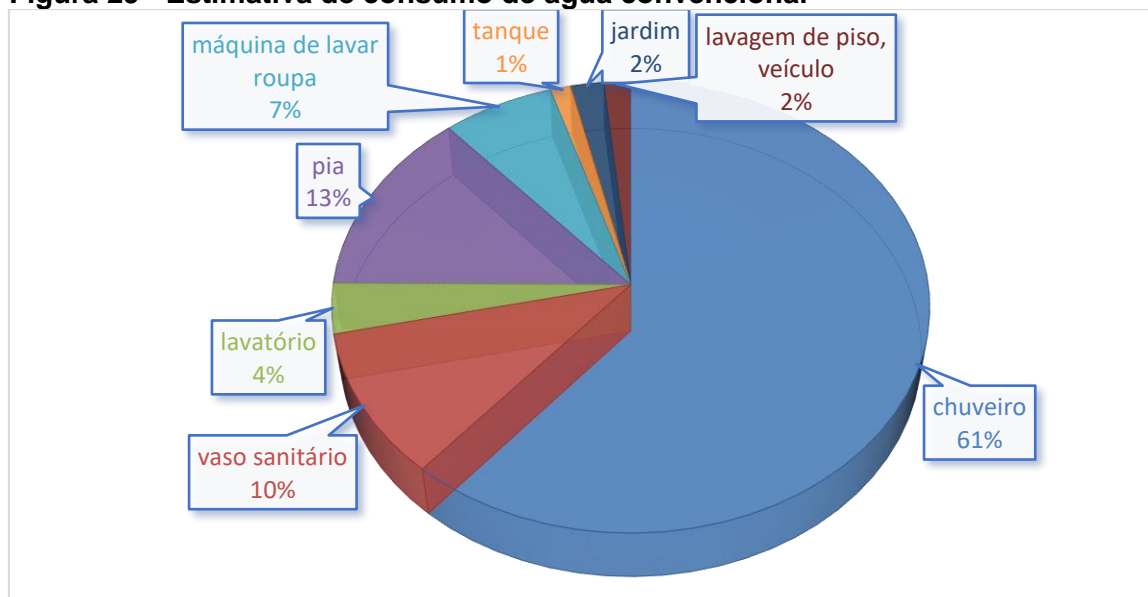


Tabela 10 - Consumo diário com consumo convencional e sem considerar o aproveitamento de água das chuvas

Usos	por habitante L/hab/dia (L)	Demanda casa (L)	Demanda potável L/dia (L)	Demanda pluvial/reuso (L)	consumo percentual
usos internos					
Chuveiro	153,6	307,2	307,2	-	61%
Sanitário	25,9	51,8	51,8	-	10%
Lavatório	9,0	18,0	18,0	-	4%
pia	33,75	67,5	67,5	-	13%
máquina lavar roupa	16,675	33,35	33,35	-	7%
tanque	3,0	6,0	6,0	-	1%
usos externos					
jardim	5,0	10,0	10,0	-	2%
lavagem piso, veículo	4,0	8,0	8,0	-	2%
Consumo Total	250,90	501,85	501,85	-	100%

1.3. Consumo diário considerando a utilização de equipamentos racionalizadores

O consumo total de água da habitação calculado foi de 311,81 litros por dia.

Figura 30 - Estimativa de consumo de água racionalizado

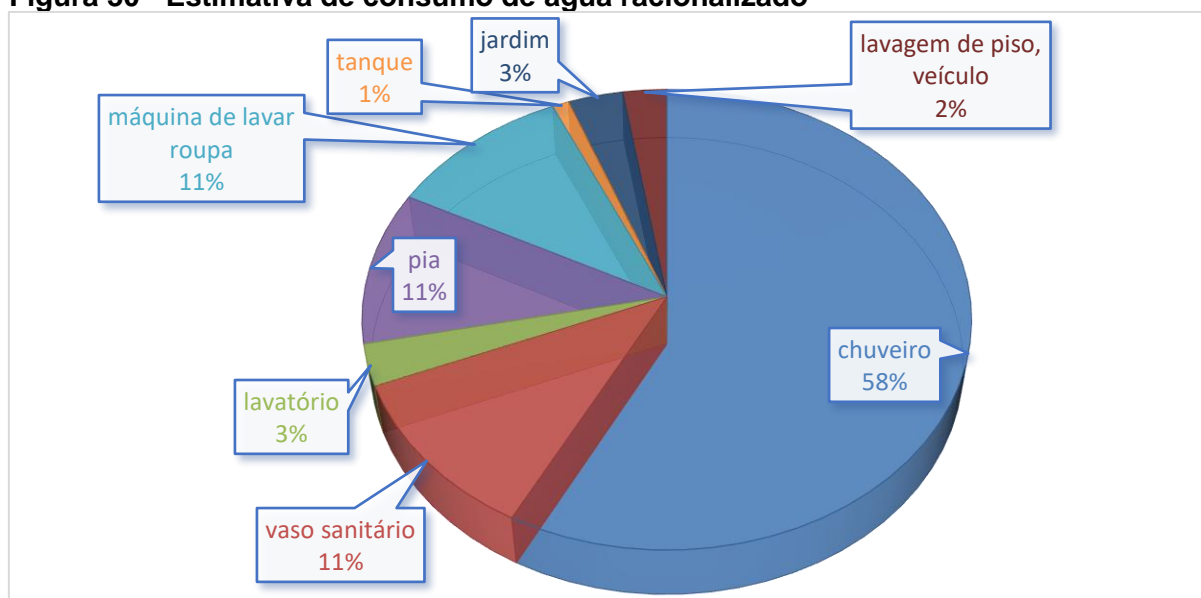


Tabela 11 - Consumo diário com equipamentos economizadores e aproveitamento de água pluvial

Usos	por habitante L/hab/dia (L)	Demanda Total casa (L)	Demanda potável L/dia (L)	Demanda pluvial/reuso ¹⁰ – 76,82% (L)	consumo percentual
usos internos					
Chuveiro	90	180	180	-	58%
Sanitário	17,355	34,71	8,05	26,66	11%
Lavatório	4,5	9,0	9,0	-	3%
pia	16,875	33,75	33,75	-	11%
máquina lavar roupa	16,675	33,35	7,73	25,62	11%
tanque	1,5	3	0,70	2,30	1%
usos externos					
jardim	5	10	2,32	7,68	3%
lavagem piso, veículo	4	8	1,85	6,15	3%
Consumo Total	155,905	311,81	243,4	68,41	100%

Considerando o aproveitamento da água pluvial, a demanda de água potável foi reduzida para 243,4L, logo a economia proporcional de água potável comparado com o consumo convencional (Tabela 10) foi de 52% (diferença entre 501,85L e 243,39L).

¹⁰ No cálculo do uso de água pluvial foi considerado o cenário com cobertura de 76,82% da demanda de água () do vaso sanitário, máquina de lavar roupa, tanque e torneira externa (jardim e lavagem de piso).

1.4. Porcentagem de economia de água

A economia de água proporcionada pelo emprego dos dispositivos de controle foi de 38% ao dia ($501,85 - 311,81\text{L} / 501,85\text{L} * 100$). Considerando também o aproveitamento de água pluvial, a economia total proporcionada será de 52% ($501,85 - 243,39\text{L} / 501,85\text{L} * 100$).

APÊNDICE F – DESEMPENHO LUMÍNICO

RESULTADOS DE DESEMPENHO DE LUZ NATURAL

CARACTERÍSTICAS GERAIS DO MODELO

% Abertura na Fachada (PAF):	20	Fator de Céu Visível (FCV):	Médio
Orientação Abertura:	Norte	Tipo do Vidro:	Transparente, 90%
		Reflet. Teto/Parede/Piso:	50% / 50% / 50%

DESEMPENHO DO MODELO

1) Autonomia de Luz natural (DA)	100%	100%	✓	100	Iluminância Mínima (Lux)
2) Uniformidade da Luz Natural	100%	99%	✓		CRITÉRIO DE UNIFORMIDADE
3) Atendimento a "DA" e Uniform:	100%	99%	✓	10	Relação Ilumi. Mín. x Máx.

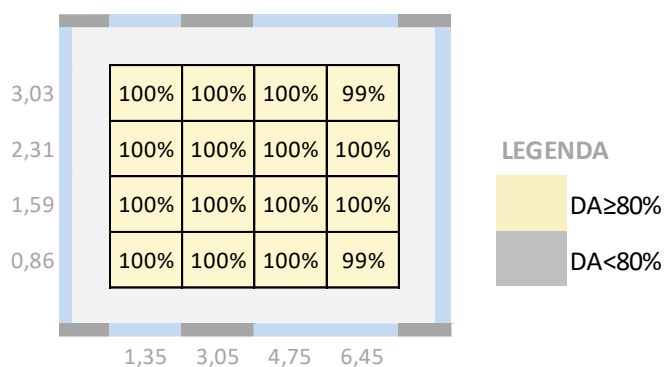
CRITÉRIO DE DISPONIBILIDADE

100 Iluminância Mínima (Lux)

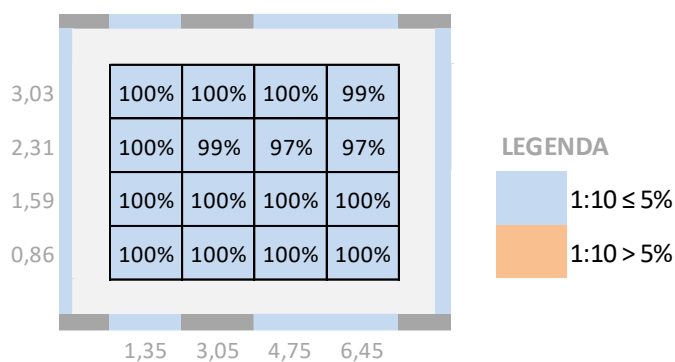
CRITÉRIO DE UNIFORMIDADE

10 Relação Ilumi. Mín. x Máx.

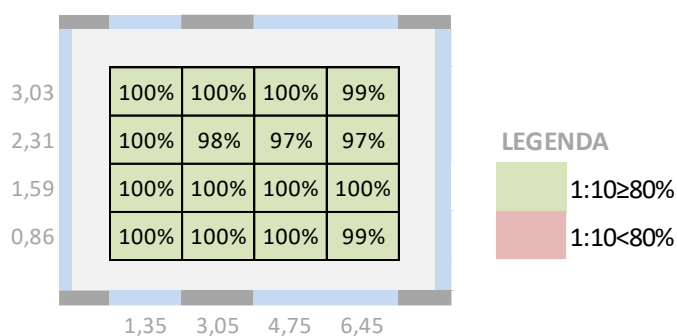
1 AUTONOMIA DE LUZ NATURAL x PROFUNDIDADE



2 OCORRENCIA DE UNIFORMIDADE 1:10 x PROFUNDIDADE



3 ATENDIMENTO AOS CRITÉRIOS DE DISPONIBILIDADE E UNIFORMIDADE



RESULTADOS DE DESEMPENHO DE LUZ NATURAL

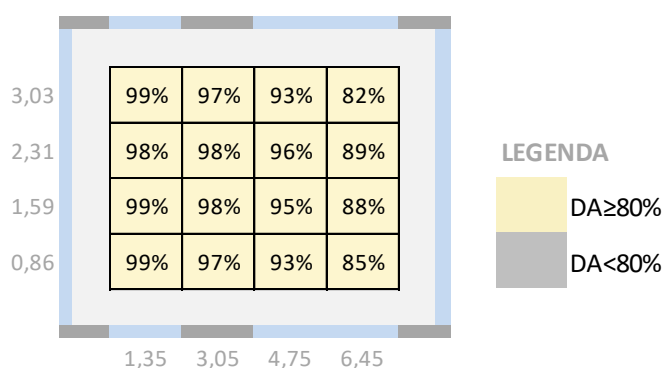
CARACTERÍSTICAS GERAIS DO MODELO

% Abertura na Fachada (PAF):	20	Fator de Céu Visível (FCV):	Médio
Orientação Abertura:	Norte	Tipo do Vidro:	Transparente, 90%
		Reflet. Teto/Parede/Piso:	50% / 50% / 50%

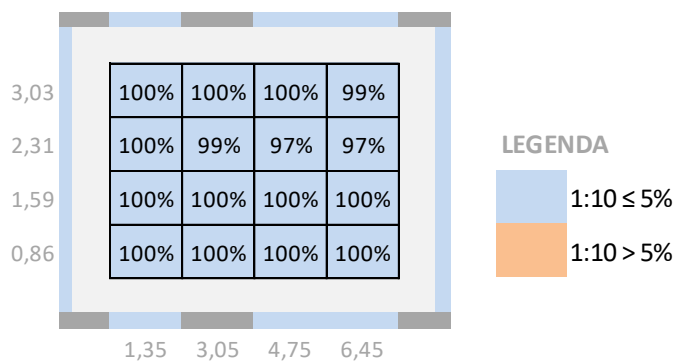
DESEMPENHO DO MODELO

1) Autonomia de Luz natural (DA)	100%	94%	✓	500	Iluminância Mínima (Lux)
2) Uniformidade da Luz Natural	100%	99%	✓		CRITÉRIO DE UNIFORMIDADE
3) Atendimento a "DA" e Uniform:	100%	94%	✓	10	Relação Ilumi. Mín. x Máx.

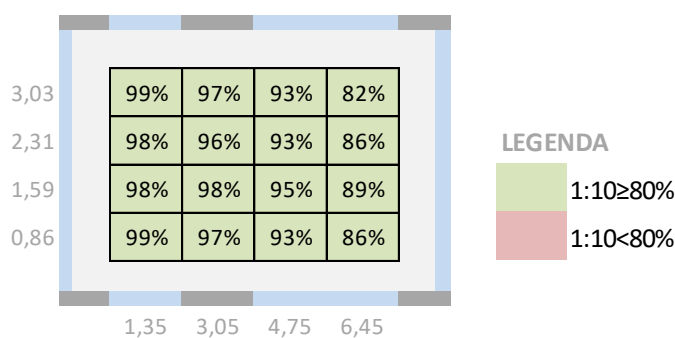
1 AUTONOMIA DE LUZ NATURAL x PROFUNDIDADE



2 OCORRENCIA DE UNIFORMIDADE 1:10 x PROFUNDIDADE

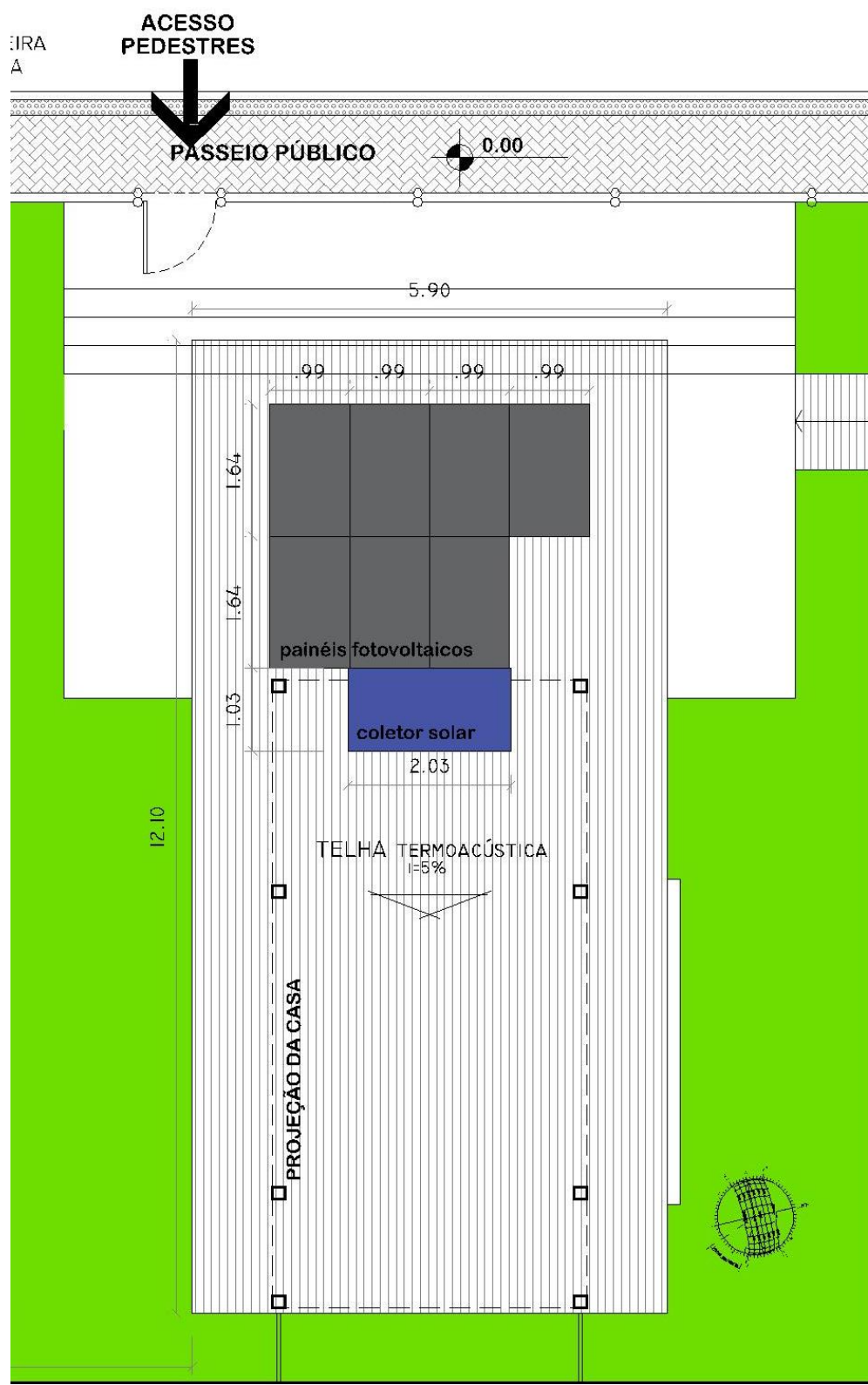


3 ATENDIMENTO AOS CRITÉRIOS DE DISPONIBILIDADE E UNIFORMIDADE











APÊNDICE G – PAINÉIS FOTOVOLTAICOS E COLETOR SOLAR

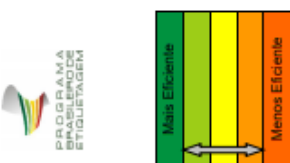
Layout sugerido dos painéis fotovoltaicos e coletor solar na planta de cobertura



ANEXO A – ENCE DE PROJETO

 <p>INMETRO PBE Edifica</p>	<h2 style="text-align: center;">Eficiência Energética</h2> <h3 style="text-align: center;">Unidade Habitacional Autônoma</h3> <p>Edificação: MICROCASA HABT 0 Identificação da unidade: Edificação unifamiliar Endereço: Rua Joaquim Alves, lote 50, Lagoa Nova Cidade/UF: Natal/RN Zona bioclimática: 8 Orientação principal da unidade: Sul Portaria RTQ-R: 18/2012 Portaria RAC: 50/2013 Método de avaliação: PRESCRITIVO Data da ENCE de projeto: 03/08/2016</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">  <p>Etiqueta PROJETO</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Etiqueta EDIFICAÇÃO CONSTRUÍDA</p> </div> </div>	
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>Mais eficiente</p> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: green; margin-right: 5px;">A</div> <div style="width: 100px; height: 10px; background-color: green; margin-right: 5px;"></div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: lightgreen; margin-right: 5px;">B</div> <div style="width: 100px; height: 10px; background-color: lightgreen; margin-right: 5px;"></div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: yellow; margin-right: 5px;">C</div> <div style="width: 100px; height: 10px; background-color: yellow; margin-right: 5px;"></div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: orange; margin-right: 5px;">D</div> <div style="width: 100px; height: 10px; background-color: orange; margin-right: 5px;"></div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: red; margin-right: 5px;">E</div> <div style="width: 100px; height: 10px; background-color: red; margin-right: 5px;"></div> </div> <p>Menos eficiente</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: right;">  <p>PT: 5,9</p> </div> </div> <div style="border: 1px solid red; padding: 10px; text-align: center; margin-top: 10px; color: red;"> <p>O nível de eficiência energética alcançado deve ser confirmado pela ETIQUETA DA EDIFICAÇÃO CONSTRUÍDA</p> </div>		
<p>Pré-requisitos gerais</p> <ul style="list-style-type: none"> - Medição individualizada de energia: N/A - Medição individualizada de água: N/A <p>Bonificações: 0,92</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ventilação natural: 0,12 - Iluminação natural: 0,30 - Uso racional de água: 0,20 - Condicionamento artificial de ar: 0,00 - Iluminação artificial: 0,10 - Ventiladores de teto: 0,10 - Refrigeradores: 0,10 - Medição individualizada: 0,00 		<p>Envoltória para Verão</p> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: green; margin-right: 5px;">A</div> <div style="width: 100px; height: 10px; background-color: lightgreen; margin-right: 5px;"></div> <div style="width: 100px; height: 10px; background-color: yellow; margin-right: 5px;"></div> <div style="width: 100px; height: 10px; background-color: orange; margin-right: 5px;"></div> <div style="width: 100px; height: 10px; background-color: red;"></div> </div> <p>Aquecimento de Água</p> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: green; margin-right: 5px;">A</div> <div style="width: 100px; height: 10px; background-color: lightgreen; margin-right: 5px;"></div> <div style="width: 100px; height: 10px; background-color: yellow; margin-right: 5px;"></div> <div style="width: 100px; height: 10px; background-color: orange; margin-right: 5px;"></div> <div style="width: 100px; height: 10px; background-color: red;"></div> </div> <p>Envoltória caso condicionada artificialmente: A</p>
<p>Observações:</p> <p>1 - A Etiqueta de Projeto tem validade de 5 anos ou até a conclusão da construção da edificação</p> <p>2 - Para verificar a validade da etiqueta consulte a página eletrônica do INMETRO: www.inmetro.gov.br</p>		
	 <p>PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM</p>	 <p>Organismo designado pelo Inmetro</p> 

ANEXO B – TABELA DO INMETRO DE COLETORES SOLARES



41 Empresas
53 Marcas
303 MODELOS ETIQUETADOS

Crerios de Classificao
Produo de Energia Mensal Especfica
em m2 (kWh/m².m2)

CLASSES	INDICE BANHO	BANHO	
		TOTAL	%
A	$P_{me} > 77,0$	210	69,3
B	$77,0 \geq P_{me} > 71,0$	68	22,4
C	$71,0 \geq P_{me} > 61,0$	24	7,9
D	$61,0 \geq P_{me} > 51,0$	0	0,0
E	$51,0 \geq P_{me} > 41,0$	1	0,3
		303	



SISTEMAS E EQUIPAMENTOS PARA AQUECIMENTO SOLAR DE AGUA - COLETORES SOLARES - EDIO 03/16



27/04/2016 APLICAO: BANHO

1 FABRICANTE	2 MARCA	3 MODELO	4 PRESSAO DE FUNCIONAMENTO (MPa)	5 AREA EXTERNA DO COLETOR (m ²)	6 PRODUO MEDIA MENSAL DE ENERGIA		7 EFICIENCIA ENERGETICA MEDIA (%)	8 CLASSIFICAO	9 MATERIAL SUPERFIE ABSORVEDORA	10 $F_r(frac)$	11 $F_r(frac)$
					Por Coletor	Por m ² (Especific)					
AÇO NOBRE	PRATIC-SOL	CSA-B10	392,0	1,00	75,3	75,3	54,6	B	ALUMINIO	0,69	6,10
	PRATIC-SOL	CSA-B12	392,0	1,20	90,4	75,3	54,6	B	ALUMINIO	0,69	6,10
	PRATIC-SOL	CSA-B15	392,3	1,50	113,0	75,3	54,6	B	ALUMINIO	0,69	6,10
	PRATIC-SOL	CSA-B16	392,3	1,60	120,5	75,3	54,6	B	ALUMINIO	0,69	6,10
	PRATIC-SOL	CSA-B20	392,3	2,00	150,6	75,3	54,6	B	ALUMINIO	0,69	6,10
	PLUSMAIS	PLUSMAIS-B10	392,3	1,00	73,9	73,9	53,5	B	ALUMINIO	0,68	5,90
	AQUATHERM	AQUASOL 1	400,0	1,00	75,3	75,3	54,6	B	ALUMINIO	0,696	6,183
	AQUATHERM	AQUASOL 1,5	392,0	1,50	113,0	75,3	54,6	B	ALUMINIO	0,696	6,183
	AQUATHERM	AQUASOL 2,0	392,0	2,00	150,6	75,3	54,6	B	ALUMINIO	0,696	6,183
	AQUATHERM	AQUASOL 2,0 H	392,0	2,00	150,6	75,3	54,6	B	ALUMINIO	0,696	6,183
AQUATHERM	AQUATHERM	AQUA PRIME 1,0	392,0	1,00	91,8	91,8	66,5	A	ALUMINIO	0,830	7,110
	AQUATHERM	AQUA PRIME 1,4	392,0	1,42	130,3	91,8	66,5	A	ALUMINIO	0,830	7,110
	AQUATHERM	AQUA PRIME 1,5	392,0	1,51	138,6	91,8	66,5	A	ALUMINIO	0,830	7,110
	AQUATHERM	AQUA PRIME 1,7	392,0	1,71	157,0	91,8	66,5	A	ALUMINIO	0,830	7,110
	AQUATHERM	AQUA PRIME 1,7 H	392,0	1,71	157,0	91,8	66,5	A	ALUMINIO	0,830	7,110
	AQUATHERM	AQUA PRIME 2,0	392,0	2,01	184,5	91,8	66,5	A	ALUMINIO	0,830	7,110
	AQUATHERM	AQUA PRIME 2,0 H	392,0	2,01	184,5	91,8	66,5	A	ALUMINIO	0,830	7,110
	AQUATHERM	AQUA PRIME 2,0 H	392,0	2,01	184,5	91,8	66,5	A	ALUMINIO	0,830	7,110
	AQUATHERM	AQUA PRIME 2,0 H	392,0	2,01	184,5	91,8	66,5	A	ALUMINIO	0,830	7,110
	AQUATHERM	AQUA PRIME 2,0 H	392,0	2,01	184,5	91,8	66,5	A	ALUMINIO	0,830	7,110
AQUECEMAX ARKSOL	AQUECE MAX	LMPV 2,0	392,0	2,01	149,7	74,5	54,0	B	ALUMINIO	0,695	6,182
	ARKSOL	SATURNO 2000	400,0	1,98	154,8	78,2	56,3	A	ALUMINIO	0,753	6,700
BOSCH TERMOTECNOLOGIA	BUIDERUS	SKN 3,0	600,0	61,2	210,0	88,6	63,2	A	COBRE	0,743	3,933
	BOSCH	FCB-1S	600,0	61,2	172,9	83,1	59,4	A	COBRE	0,719	4,118
	BOSCH	FCC-1S	600,0	61,2	182,8	87,9	62,6	A	COBRE	0,749	3,868
	BOSCH	FCC-1S	600,0	61,2	182,8	87,9	62,6	A	COBRE	0,749	3,868

A relao custo/benefcio dos coletores pode ser avaliada pelo resultado da diviso do custo do coletor individual pela PME (coluna 6 desta tabela) desde mesmo coletor. Quanto menor o valor encontrado, melhor ser a relao para o usurio.

ANEXO C – TABELA DO INMETRO DE RESERVATÓRIOS TÉRMICOS

RESERVATÓRIOS TÉRMICOS

Baixa Pressão

Fornecedores: 35

Produtos: 172

Atualização: 18/04/2018



VOLUME	FABRICANTE	MARCA	MODELO	POTÊNCIA RESIST. (KW)	PERDA(*) ESPECÍFICA ENER. MENSAL (KWh/mes/l)	PRESSÃO FUNCIONAMENTO		DIMENSÕES (mm)		MATERIAL DO CORPO INTERNO	MATERIAL DO ISOLAMENTO TÉRMICO
						kPa	(mca)	COMPRIM.	DIÂMETRO		
200 L	APARELHOS TÉRMICOS TECNOSOL	TECNOSOL-SC	TSOL PADRÃO	2,5	0,18	50,0	5,1	940	630	AÇO INOX	POLIURETANO
200 L	AQUECEMAX	MAXTEMPER	SUPERMAX / SMRT200	3,0	0,20	29,4	3,0	870	715	AÇO INOX	POLIURETANO
200 L	ARKSOL	ARKSOL	ARSTI H 200	3,0	0,19	40,0	4,1	790	715	AÇO INOX	POLIURETANO
200 L	BOSCH TERMOTECNOLOGIA	HELIOTEK	MK200	2,5	0,17	49,0	5,0	900	680	AÇO INOX	POLIURETANO
200 L	BOSCH TERMOTECNOLOGIA	HELIOTEK	K2MK200	2,5	0,17	49,0	5,0	900	680	AÇO INOX	POLIURETANO
200 L	BOSCH TERMOTECNOLOGIA	HELIOTEK	K2MK200A	2,5	0,17	49,0	5,0	900	680	AÇO INOX	POLIURETANO
200 L	BOSCH TERMOTECNOLOGIA	HELIOTEK	MK200A	2,5	0,17	49,0	5,0	900	680	AÇO INOX	POLIURETANO
200 L	BRAUER	ARGUS	APOLLO LL 200	3,0	0,20	50,0	5,1	1430	560	AÇO INOX	POLIURETANO
200 L	COLSOL	COLSOL	RE200ES	3,0	0,17	49,0	5,0	800	690	AÇO INOX	POLIURETANO
200 L	CUMULUS	INOX	BP IX 200	2,0	0,18	49,0	5,0	1150	560	AÇO INOX	POLIURETANO
200 L	EZSOLAR	KONFORT	K 200	2,0	0,16	39,0	4,0	990	616	AÇO INOX	POLIURETANO
200 L	EXCEL	EXCEL SOLAR	ES 03	2,0	0,17	49,0	5,0	860	723	AÇO INOX	POLIURETANO
200 L	JELLY FISH	JELLY FISH	JF 200	3,5	0,14	49,0	5,0	840	690	AÇO INOX	POLIURETANO
200L	L. A.M MELONI	MONDIALLE	BP 200L	4,0	0,19	50,0	5,0	815	670	AÇO INOX	POLIURETANO
200L	L. A.M MELONI	MONDIALLE	BPN 200L	4,0	0,19	50,0	5,0	815	670	AÇO INOX	POLIURETANO
200L	L. A.M MELONI	MONDIALLE	BPS 200L	Não aplicável	0,19	50,0	5,0	815	670	AÇO INOX	POLIURETANO
200 L	KISOL	KISOL	200 DESNIVEL	3,0	0,19	50,0	5,1	935	600	AÇO INOX	POLIURETANO

ANEXO D – CATÁLOGO FABRICANTE DO PAINEL FOTOVOLTAICO



AXIpremium

60 células monocristalino
Módulos fotovoltaicos de alto rendimento



engenharia alemã-brasileira

Vantagens:



Garantia de fabricação de 15 anos



Desempenho máximo dos módulos solares AXITEC através de qualidade altíssima dos materiais e utilização de tecnologias de produção "estado de arte"



Tolerância de potência positiva garantida de -0/+5 Wp



Carga máxima de 5400 Pa



100 % teste de electroluminescência



Máxima estabilidade baseada na construção de moldura em alumínio com sistema AXITEC-Soft-Grip

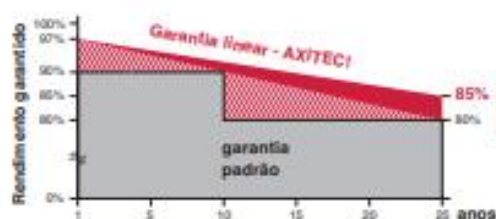


Caixa de conexão e sistema de conectores de alta qualidade



Garantia linear exclusiva de AXITEC de máximo rendimento!

- Garantia de 15 anos para 90% de potência nominal
- Garantia de 25 anos para 85% de potência nominal



1 - 8 % mais energia
depois de 25 anos



PROCEL
PROGRAMA NACIONAL
DE CONSERVAÇÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA

**AXI
premium**

AC-270M/156-60S AC-290M/156-60S
AC-275M/156-60S AC-295M/156-60S
AC-280M/156-60S AC-300M/156-60S
AC-285M/156-60S

distribuído por:

www.axitecsolar.com.br
AXITEC
high quality german solar brand


Certificação INMETRO


Dados elétricos (em condições de teste padrão (STC) irradiância 1.000 W/m² com espectro AM 1,5 e temperatura da célula de 25°C)

Tipo	Potência nominal P _{mp}	Tensão nominal U _{mp}	Corrente nominal I _{mp}	Corrente de curto-circuito I _{sc}	Tensão de circuito aberto U _{oc}	Eficiência de módulo
AC-270M/156-60S	270 Wp	30,94 V	8,80 A	9,41 A	39,26 V	16,6 %
AC-275M/156-60S	275 Wp	31,20 V	8,86 A	9,50 A	39,32 V	16,9 %
AC-280M/156-60S	280 Wp	31,50 V	8,95 A	9,55 A	39,45 V	17,2 %
AC-285M/156-60S	285 Wp	31,59 V	9,09 A	9,68 A	39,56 V	17,5 %
AC-290M/156-60S	290 Wp	31,71 V	9,16 A	9,70 A	39,70 V	17,8 %
AC-295M/156-60S	295 Wp	31,80 V	9,29 A	9,75 A	39,95 V	18,1 %
AC-300M/156-60S	300 Wp	32,16 V	9,34 A	9,82 A	40,08 V	18,4 %

Estrutura

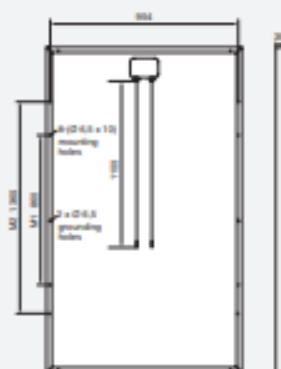
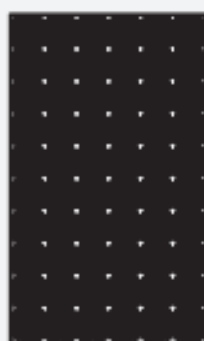
Frete	vidro temperado e de baixa reflexão, 3,2 mm
Célula	60 células de silício monocristalino de alta potência 156 mm x 156 mm (6")
Verso	película posterior resistente às intempéries (branca)
Moldura	35 mm moldura de alumínio (cor de prata, anodizado)

Dados mecânicos

C x L x A	1640 x 992 x 35 mm
Peso	18,0 kg com moldura

Conexão

Caixa de conexão	grau de proteção IP67 com (3 diodos de derivação)
Cabo	ca. 1,1 m, 4 mm ²
Sistema de conectores	grau de proteção IP67



Todas medidas em mm

Valor limite

Tensão do sistema	1000 VDC
NOCT (nominal operating cell temperature)*	45°C +/-2K
Máxima de carga	5400 Nm ²
Corrente reversa	16,0 A
Temperatura de operação permitida	-40°C até +85°C

(Não podem ser aplicadas ao módulo
tensões externas maiores que U_{oc})

*NOCT, irradiância 800 W/m², AM 1,5;
velocidade de vento 1 m/s

Coefficiente de temperatura

Tensão U _{oc}	-0,30 %/K
Corrente I _{sc}	0,04 %/K
Potência P _{mp}	-0,40 %/K

Comportamento com luz fraca (Exemplo AC-300M/156-60S)

I-U Característica	Corrente	Tensão
200 W/m ²	2,15 A	30,17 V
400 W/m ²	3,71 A	31,20 V
600 W/m ²	6,05 A	31,81 V
800 W/m ²	7,57 A	32,10 V
1000 W/m ²	9,34 A	32,16 V

Embalagem

Módulos Solares por pallet	30x unidades
Módulos Solares por Container (40'HQ)	840x unidades

Podem ocorrer sem aviso prévio alterações nas especificações dos dados técnicos.
Todos os direitos reservados.

Tolerâncias das medidas: +/-3%